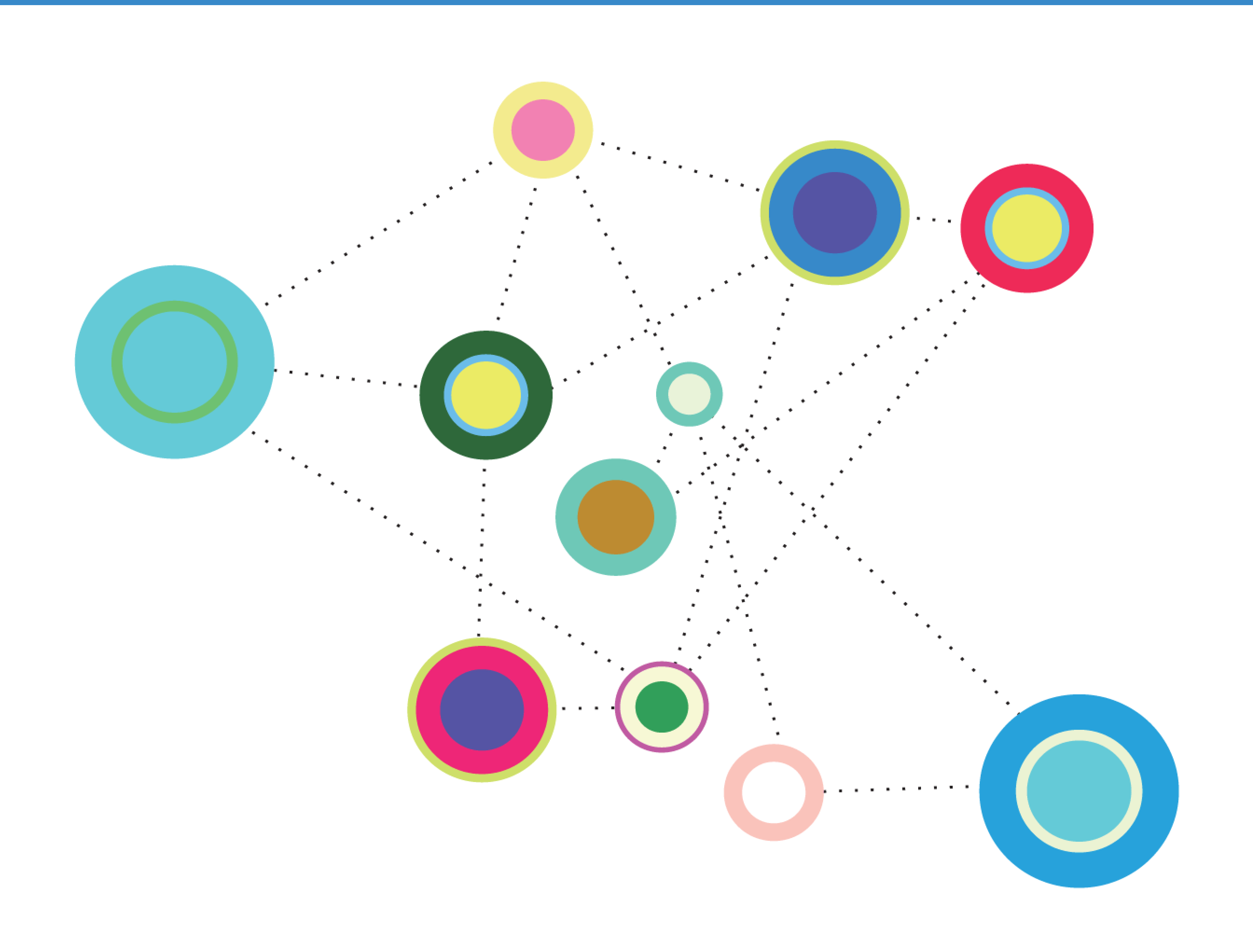
# 动态网络分析与仿真研究

刘天印 万琼 著



清华大学出版社

# 动态网络分析与仿真研究

刘天印　万　琼　著

清华大学出版社
北　京

## 内 容 简 介

大数据时代的互联网＋与人工智能的发展，为研究人类社会动态和解决社会复杂性问题带来了前所未有的机遇，促进了计算机、传播学、复杂性科学、管理学、经济学、社会学、行为学、心理学等领域相互交叉渗透。

全书共两篇：一是理论基础篇，介绍了动态网络分析和社会仿真；二是案例应用篇，包括基于统计分析的实证研究，基于 Agent 仿真、定性仿真、元胞自动机、传播动力学的仿真研究以及对策研究。案例为职业压力和流行病传播分析。

本书可作为高等院校理工科高年级学生和研究生的教学参考书，也可供系统科学、管理科学、社会科学等交叉学科专业的研究人员和技术人员参考。



**图书在版编目（CIP）数据**

动态网络分析与仿真研究/刘天印，万琼著. —北京：清华大学出版社，2018
ISBN 978-7-302-49584-0

Ⅰ. ①动…　Ⅱ. ①刘… ②万…　Ⅲ. ①计算机网络－网络分析－研究 ②计算机网络－计算机仿真－研究　Ⅳ. TP393.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 027572 号

**责任编辑：**付弘宇　赵晓宁
**封面设计：**常雪影
**责任校对：**焦丽丽
**责任印制：**刘海龙

**出版发行：**清华大学出版社
**网　　址：**http://www.tup.com.cn，http://www.wqbook.com
**地　　址：**北京清华大学学研大厦 A 座　　**邮　　编：**100084
**社 总 机：**010-62770175　　**邮　　购：**010-62786544
**投稿与读者服务：**010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn
**质量反馈：**010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn
**课件下载：**http://www.tup.com.cn，010-62795954
**印 装 者：**三河市铭诚印务有限公司
**经　　销：**全国新华书店
**开　　本：**180mm×245mm　**印　　张：**12.75　**字　　数：**277 千字
**版　　次：**2017 年 12 月第 1 版　**印　　次：**2017 年 12 月第1 次印刷
**印　　数：**1～500
**定　　价：**59.00 元

产品编号：077340-01

FOREWORD

# 前　言

大数据时代的来临，为研究人类社会动态和解决社会复杂性问题以及跨学科交叉研究带来了前所未有的机遇，计算机、传播学、复杂性科学、管理学、经济学、社会学、行为学、心理学等领域在相互交叉渗透。中国拥有占据世界第二的庞大的互联网保有量资源，网民规模达 7.51 亿(截至 2017 年 6 月)，其中手机网民占比 96.3% 。基于互联网的微信朋友圈、QQ 空间和微博等各种在线社交网络飞速扩展，极大地影响着网络舆情的传播、信息的扩散、群体的网络安全、事件的预测与分析等；手机银行、在线支付、在线旅行预订、网上外卖、在线购物等形成商务生态网络；学术界、产业界的学者和专家都离不开创新网络、引文网络的支持，“社会网络”的研究和应用再次成为热点，并且已经从静态转向动态，从单一网络转向多元网络，从单层分析转向多层分析。复杂适应系统提出“适应性造就复杂性”，而构成社会网络的 Agent，具有趋利避害、理性与感性相结合的不断变化的“人”才是复杂性的根源。动态网络分析和社会仿真是本书的两大理论基础，是复杂适应系统建模与仿真的两大重要方法。

本书获得湖北省教育厅项目(编号：B20104406)和湖北理工学院科技创新团队项目(编号：13xtz06)的资助，其内容可构成项目研究基础和研究成果。本书是作者的博士论文和在美国匹兹堡大学访学期间的学术成果的梳理和总结。由于内容较多，本书理论方面集中介绍了动态网络分析和社会仿真，应用方面主要基于社会网络的职业压力和流行病传播。第二本专著在应用方面将基于合作竞争的移动商务的战略联盟演化、基于在线社交网络的突发事件网络舆情演化，以及社会网络与人工智能相结合等方面进行研究。

全书内容分为理论基础篇和案例应用篇，案例应用篇分为实证研究、仿真研究和对策研究三部分。第 1 章是绪论，是复杂系统、社会网络分析

的研究综述，并介绍了复杂系统建模与仿真方法。第2和第3章是理论部分。第2章介绍了社会网络分析的概念、方法、层次与指标，社会网络模型，动态网络分析的创新与演化过程，最后介绍了社会网络上的病毒传播动力学。第3章介绍了人工社会的概念、构成与核心方法，复杂适应系统的核心思想、基本概念、特点以及复杂适应系统的建模与仿真，使用社会仿真的原因与目的，最后介绍典型的社会仿真建模与方法。第4章是对高校教师工作压力传播的实证研究，采用的是统计方法。第5～第7章都是对高校教师工作压力传播的仿真研究，模型与调查研究，由理论进入应用，通过统计分析的方法进行实证研究。第5章基于Agent建模与仿真方法对工作压力的演化进行仿真研究。第6章基于定性仿真的高校工作压力对教师群体行为影响的研究，建立振荡均衡定性仿真模型，研究了工作压力对教师群体行为的影响。第7章基于元胞自动机的高校工作压力对工作绩效影响的研究。第8章是对高校教师工作压力管理的对策研究。第9章运用病毒传播动力学对复杂网络上的甲流传播进行仿真研究。

本书是刘天印（湖北理工学院）和万琼（湖北师范大学）合著的，是我们的第一部专著，在炎热的夏天，在灯光长明的夜晚，都流下了辛勤的汗水。也要感谢我们的女儿热心的支持和帮助，祝她学业有成、生活愉快；还要感谢博士导师胡斌教授和张金隆教授，将我们引进社会仿真的殿堂；2015年获得国家留学基金委资助赴美国匹兹堡大学访学，期间跟随卡内基·梅隆大学的Kathleen M. Carley教授学习动态网络分析课程，感谢她的指导和帮助；同时还要感谢同门同学，特别与吴江的交流深感受益良多。本书参考了大量其他学者的研究成果，进行了引用标注，在此一并表示感谢。

由于作者水平和经验有限，不妥和有争议之处在所难免，恳请专家和读者们不吝赐教，来函请发至邮箱 tianyin.liu2005@hbpu.edu.cn，再次感谢。

刘天印　万　琼

2017年12月

CONTENTS

# 目　录

## 第1篇　基础理论篇

第1章　绪论 …… 3

1.1　背景 …… 3
1.2　复杂系统的研究综述 …… 7
1.2.1　国外研究综述 …… 7
1.2.2　国内研究综述 …… 8
1.2.3　国内外复杂性科学研究比较 …… 8
1.3　社会网络分析的研究综述 …… 9
1.3.1　社会网络分析的发展历程 …… 9
1.3.2　社会网络分析的经典理论 …… 12
1.3.3　知名研究机构或团队 …… 13
1.4　复杂系统建模与仿真方法 …… 14
1.4.1　基于智能技术的复杂系统建模与仿真方法 …… 14
1.4.2　基于离散事件动态系统的复杂系统建模与仿真方法 …… 15
1.4.3　定性建模与仿真方法 …… 16
1.4.4　复杂网络建模与仿真方法 …… 19
1.4.5　基于数学手段的复杂系统仿真方法 …… 20
1.4.6　综合集成方法 …… 20
1.4.7　其他建模与仿真方法 …… 21
1.5　本书的主要内容及结构安排 …… 21
1.5.1　本书的主要内容 …… 21
1.5.2　本书的结构安排 …… 21

**第 2 章　动态网络分析** …… 24
2.1　社会网络分析基础 …… 24
2.1.1　社会网络分析 …… 25
2.1.2　社会网络指标 …… 27
2.1.3　社会网络模型 …… 29
2.2　动态网络分析的基本理论 …… 38
2.2.1　动态网络分析的创新 …… 38
2.2.2　动态网络基本演化过程 …… 39
2.3　社会网络上的病毒传播 …… 40
2.3.1　基于生物学的经典病毒传播模型 …… 40
2.3.2　无标度网络中的病毒传播机制 …… 44
2.3.3　有限规模无标度网络的传播阈值 …… 47
2.4　本章小结 …… 49

**第 3 章　人工社会与社会仿真** …… 50
3.1　人工社会 …… 50
3.1.1　基本概念 …… 50
3.1.2　人工社会的构成 …… 51
3.1.3　核心方法 …… 51
3.2　复杂适应系统 …… 53
3.2.1　CAS 理论的核心思想 …… 53
3.2.2　CAS 的基本概念 …… 54
3.2.3　CAS 的特点 …… 54
3.2.4　CAS 的建模与仿真 …… 56
3.3　社会仿真的原因和目的 …… 58
3.3.1　社会仿真的原因 …… 58
3.3.2　社会仿真的目的 …… 58
3.4　社会仿真建模与方法 …… 60
3.4.1　基于多智能体的仿真 …… 60
3.4.2　元胞自动机 …… 64
3.4.3　基于 QSIM 定性仿真 …… 67
3.5　本章小结 …… 70

# 第 2 篇　案例应用篇

第 4 章　高校教师工作压力模型与调查研究 …… 73
4.1　引言 …… 73
4.2　关于工作压力的研究 …… 74
4.2.1　工作压力相关概念 …… 74
4.2.2　工作压力要素 …… 76
4.2.3　工作压力模型 …… 76
4.3　桶状工作压力模型 …… 79
4.4　高校教师工作压力现状调查 …… 80
4.5　高校教师工作压力分析 …… 87
4.5.1　表征分析 …… 87
4.5.2　负面影响分析 …… 90
4.5.3　压力源分析 …… 92
4.6　本章小结 …… 96
第 5 章　高校教师工作压力扩散研究 …… 98
5.1　引言 …… 98
5.2　复杂网络上的传播动力学 …… 99
5.2.1　复杂网络理论 …… 99
5.2.2　复杂网络的经典传播模型 …… 102
5.2.3　复杂网络的传播阈值理论 …… 103
5.3　多智能体仿真与仿真平台 AnyLogic …… 104
5.3.1　多智能体仿真 …… 104
5.3.2　仿真平台 AnyLogic …… 104
5.4　OSD 模型 …… 106
5.4.1　节点 L 视角 …… 107
5.4.2　节点 S 视角 …… 107
5.4.3　节点 I 视角 …… 107
5.4.4　节点 R 视角 …… 107
5.5　实验设计、确认与结果 …… 108
5.5.1　扩散阈值对工作压力扩散的影响 …… 109
5.5.2　网络拓扑结构类型对工作压力扩散的影响 …… 110
5.5.3　组织的初始压力分布对工作压力扩散的影响 …… 112

5.6　本章小结 …… 113

第 6 章　高校工作压力对教师群体行为影响的研究 …… 114

6.1　引言 …… 114
6.2　教师群体的特征 …… 114
6.3　OEQS 模型 …… 116
6.3.1　相关表述 …… 116
6.3.2　状态转换规则 …… 119
6.3.3　过滤原理 …… 121
6.3.4　定性仿真引擎 …… 122
6.4　模型的确认 …… 122
6.4.1　高校示例描述 …… 123
6.4.2　实验方案设计 …… 123
6.4.3　定性仿真与分析 …… 124
6.5　高校工作压力对教师群体行为影响的定性仿真应用 …… 127
6.6　本章小结 …… 131

第 7 章　高校工作压力对工作绩效影响的研究 …… 133

7.1　引言 …… 133
7.2　高校工作压力对工作绩效影响的问题分析 …… 134
7.2.1　工作绩效的概念 …… 134
7.2.2　工作压力—工作绩效的关系理论 …… 134
7.3　基于 CA 的系统建模 …… 138
7.3.1　基本 CA 模型 …… 138
7.3.2　建模对象 …… 139
7.3.3　状态及变量 …… 140
7.3.4　局部规则 …… 140
7.4　系统设计与开发 …… 142
7.5　仿真实验、确认与分析 …… 144
7.5.1　实验方案设计 …… 144
7.5.2　仿真结果、确认及分析 …… 145
7.6　本章小结 …… 149

第 8 章　高校教师工作压力管理与对策研究 …… 150

8.1　引言 …… 150

8.2 关于压力管理的研究 …… 151
8.2.1 压力管理的内涵 …… 151
8.2.2 压力管理的模型 …… 152
8.3 高校教师工作压力管理模式 …… 154
8.3.1 高校教师工作压力仿真结果分析 …… 154
8.3.2 高校教师工作压力管理模式 …… 155
8.4 多视角高校教师个体的工作压力管理 …… 157
8.4.1 基于个体视角 …… 157
8.4.2 基于组织视角 …… 160
8.5 社会层面对缓解高校教师工作压力的策略 …… 162
8.5.1 发动社会、媒体关注教师工作压力问题 …… 162
8.5.2 营造尊师重教的良好社会氛围 …… 162
8.6 本章小结 …… 163

**第 9 章 复杂网络上的 A(H1N1)型流感传播模型研究** …… 164

9.1 引言 …… 164
9.2 复杂网络的经典传播模型 …… 164
9.3 A(H1N1)病毒传播模型及仿真 …… 166
9.4 本章小结 …… 169

**附录 高校教师工作压力接受问卷调查研究** …… 170

**参考文献** …… 172

P A R T 1

# 第 1 篇 基础理论篇

第 1 章 绪论
第 2 章 动态网络分析
第 3 章 人工社会与社会仿真

CHAPTER 1

# 第1章 绪论

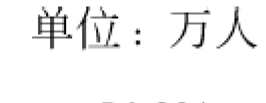
## 1.1 背景

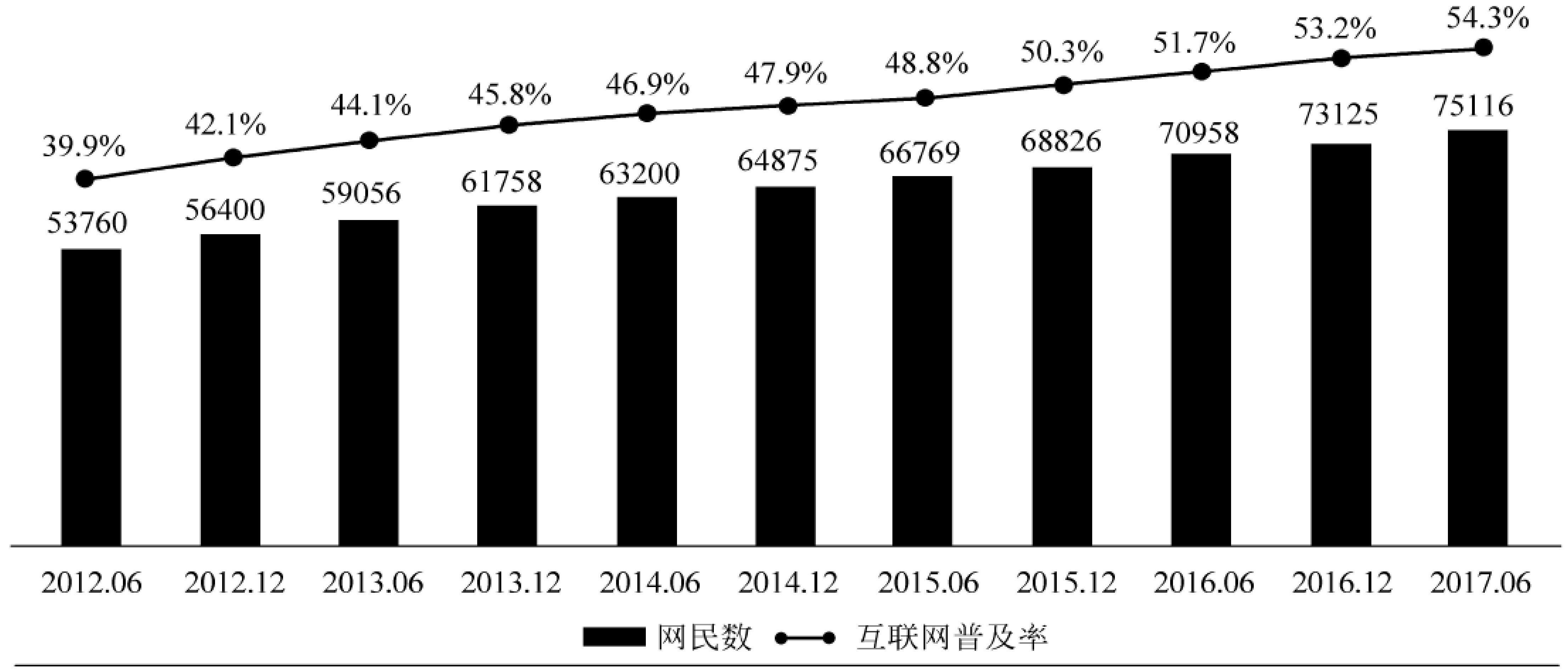
近年来，随着互联网+、社会媒体和移动通信技术的快速发展和广泛普及，全球数据呈现出前所未有的爆发式增长态势，已经进入大数据时代。中国因其庞大的人口基数和经济、科技的持续发展，成为全球社会网络中不可或缺的重要组成部分，形成有中国特色的开放的复杂巨系统，如在线社交网络、商务生态网络、创新网络、引文网络等复杂社会网络。下面是中国互联网络信息中心和百度学术的相关统计数据。

根据《第40次中国互联网络发展状况统计报告》，截至2017年6月，我国网民规模达到7.51亿人，半年共计新增网民1992万人。互联网普及率为54.3%，较2016年底提升1.1个百分点，如图1-1所示。

截至2017年6月，我国手机网民规模达7.24亿人，较2016年底增加2830万人。网民使用手机上网的比例由2016年底的95.1%提升至96.3%，如图1-2所示。

截至2017年6月，使用率排名前三的社交应用均属于综合类社交应用，即微信朋友圈、QQ空间和微博。前两者作为即时通信工具所衍生出来的社交服务，用户使用率分别为84.3%和65.8%，微博作为社交媒体，得益于名人明星、网红及媒体内容生态的建立与不断强化，以及在短视频和移动直播上的深入布局，用户使用率持续回升，达38.7%，较2016年12月上升1.6%，如图1-3所示。

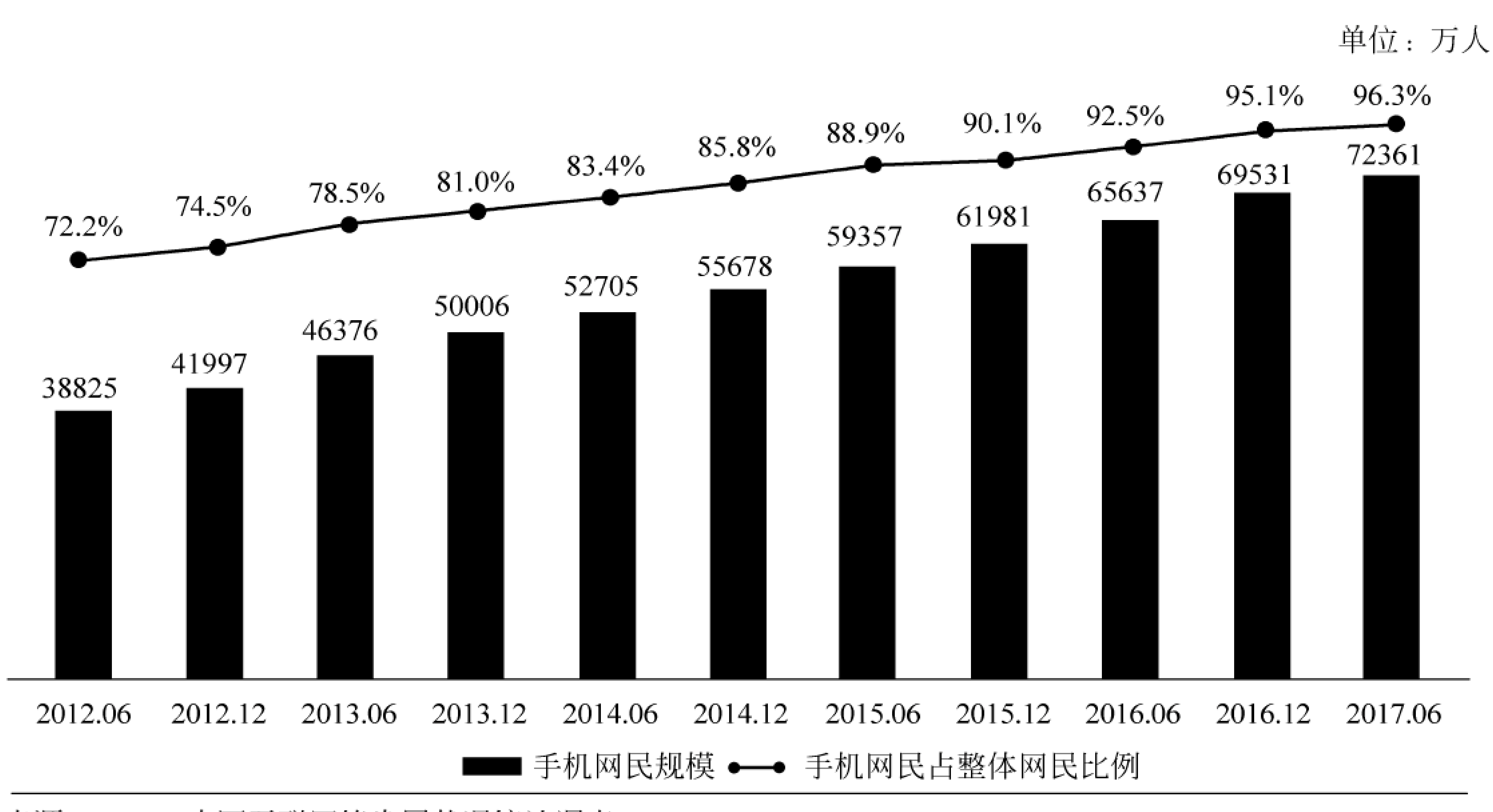



来源：CNNIC中国互联网络发展状况统计调查

图 1-1　2017 年中国网民规模和互联网普及率

（中国互联网络信息中心，2017）




来源：CNNIC中国互联网络发展状况统计调查

图 1-2　2017 年中国手机网民规模及其占网民比例

（中国互联网络信息中心，2017）

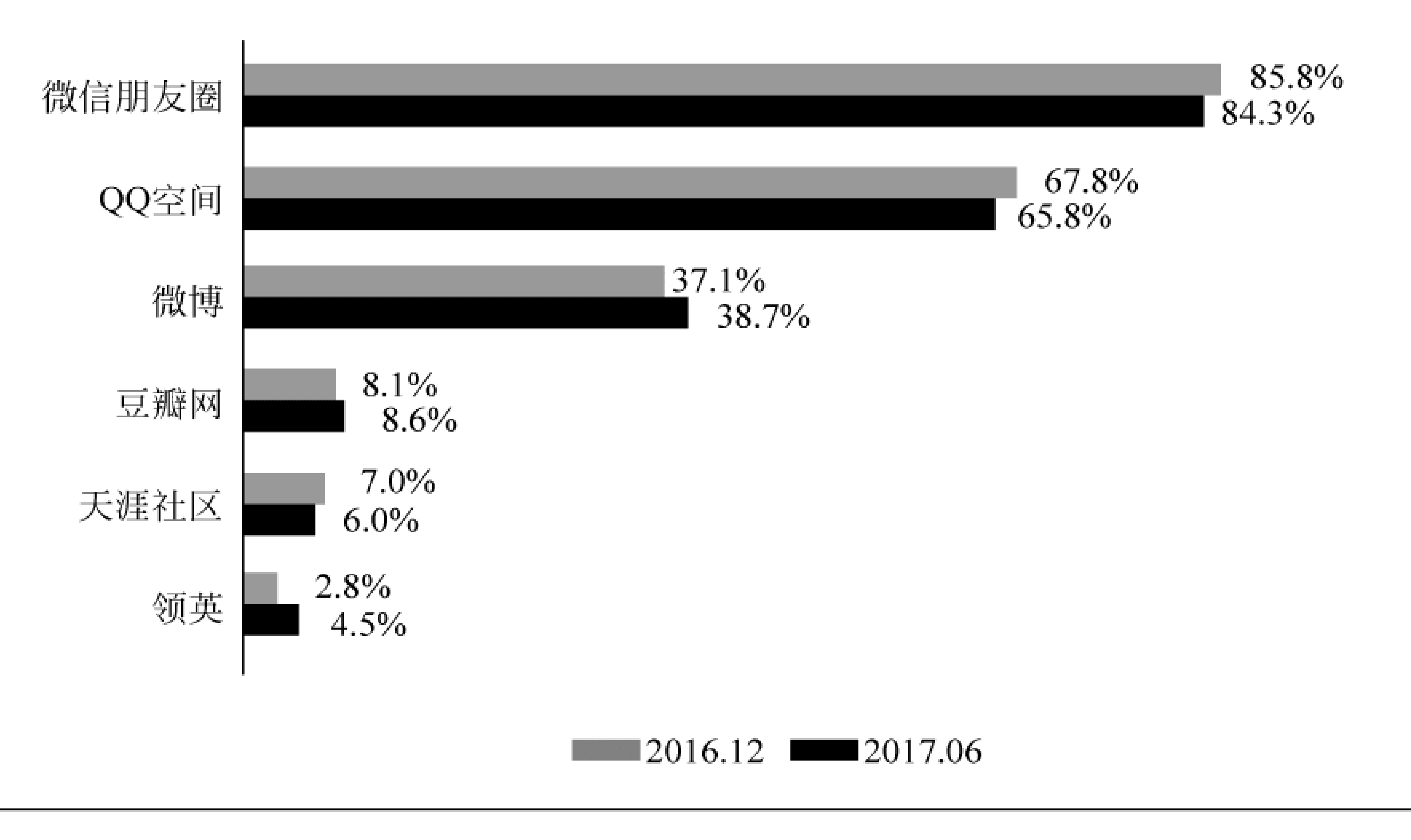



图 1-3　2016.12—2017.6 典型社交应用使用率

（中国互联网络信息中心，2017）

据麦肯锡全球研究院（McKinsey Global Institute，MGI）预测，到 2020 年，全球数据使用量将增加 44 倍，达到 35ZB。大数据时代的到来，为跨学科交叉研究以及研究人类社会动态和解决社会复杂性问题带来了前所未有的机遇。计算机、传播学、复杂性科学、管理学、经济学、社会学等领域相互交叉渗透。美国圣塔菲研究所（Santa Fe Institute）、谷歌研究院（Research at Google）、惠普社会计算实验室（HP Social Computing Lab）等跨学科研究机构和哈佛大学、斯坦福大学、康奈尔大学等，用复杂性科学来描述社会系统中的复杂现象，提出了复杂适应系统（Complex Adaptive System，CAS）等一系列新理论，用计算机作为研究复杂性科学的基本工具，开创了基于 Agent 建模（Agent-based Modeling，ABM）等新的研究方法，社会计算（Social Computing）开始进入人工社会（Artificial Societies）。

使用百度学术搜索 Agent-based Modeling，其研究走势如图 1-4 所示。Agent-based Modeling 从 1999 年开始出现相关研究，2014 年达到最热，至今共有 1808 篇相关论文。

Agent-based Modeling 的跨学科研究也发展迅猛，已深入到管理科学与工程、系统科学、社会学、传播学等多个学科，并衍生出多个交叉学科主题。图 1-5 所示为多个渗透学科及对应的研究主题。

下面对复杂系统、社会网络分析以及社会仿真等方面的研究综述进行介绍。

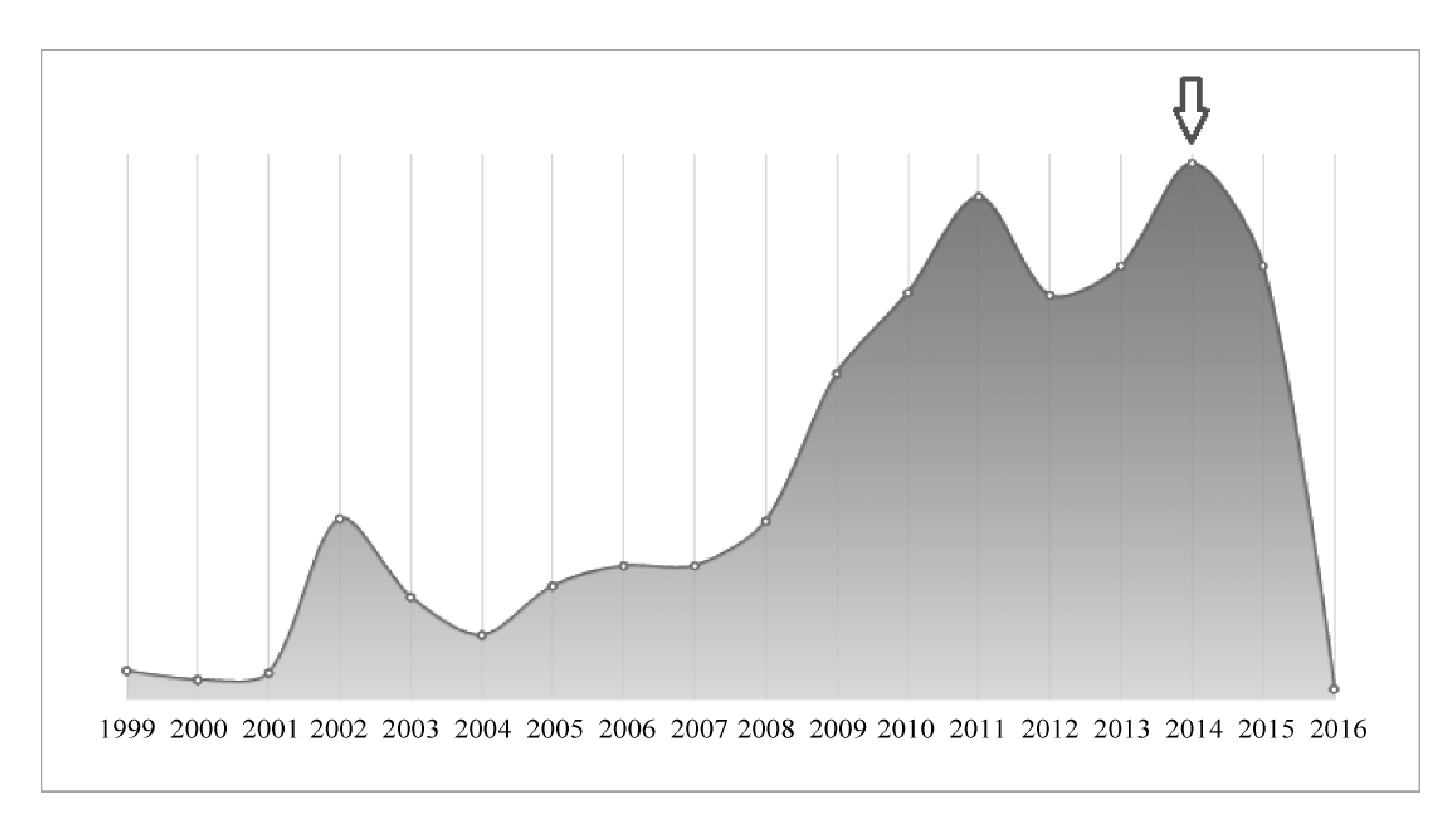



图 1-4　Agent-based Modeling 研究趋势图(百度学术)

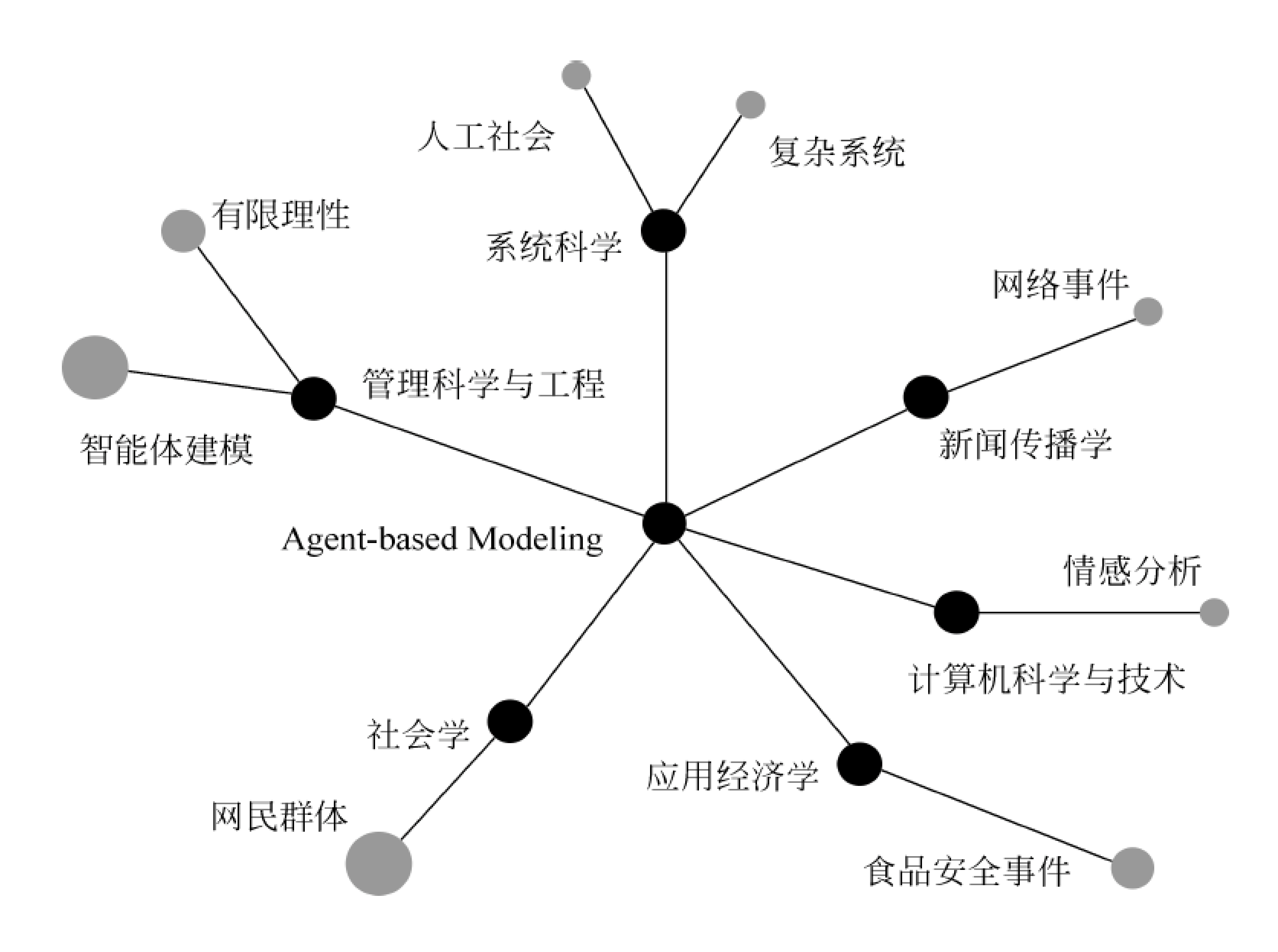



图 1-5　Agent-based Modeling 学科渗透图(百度学术)

# 1.2　复杂系统的研究综述

复杂性科学(The Sciences of Complexity)是一门研究复杂系统及其复杂性的交叉性学科,是一门关于涌现的科学。目前,复杂性研究的主要领域有人工智能(Artificial Intelligence,AI)、神经网络(Neural Network)、免疫系统(Immune System)、人工生命(Artificial Life)以及经济系统、社会系统和生态系统等。

复杂系统有时又称为复杂适应系统(Complex Adaptive System,CAS),是指由大量不同单元组成的自适应系统。由于系统的不同组分之间存在的非线性相互作用,使得系统能够表现出涌现(Emergence)特性。复杂性就是复杂系统的特征和属性。概括起来,复杂系统有 4 个基本特征:①组成单元数量庞大;②单元之间存在大量联系;③具有自适应性和进化能力;④具有动力学特性。

刘晓平等认为,复杂系统的发展历程分为国外的“复杂性”(Complexity)科学为主线,以及国内的系统科学为主线,主要是钱学森院士引领的“开放的复杂巨系统”(Open Complex Giant Systems,OCGS)的研究。

## 1.2.1　国外研究综述

1928 年,奥地利生物学家贝塔朗菲(L. V. Bertalanffy)在论文中首次提出“复杂性”(Complexity)的概念。

1969 年,普里高津(Prigogine)提出“耗散结构”理论,哈肯(H. Haken)提出“协同学”,都发展了复杂系统的自组织特征。

1969 年,美国学者司马贺(H. Simon)提出“人工科学”的概念,将经济学、认知心理学、学习科学、设计科学、管理学、复杂性研究等贯穿联系起来。

1985 年,《复杂性》(*Journal of Complexity*)杂志创刊。

1987 年,美国圣塔菲研究所在人工生命的研究中提出“混沌边缘”的概念。在对人工生命模型的计算机仿真中,发现有序和混沌之间存在一个相变阶段,在这个层次中,系统的行为在一定条件下会出现适应和自组织的复杂现象,提出“复杂性科学”这一新领域。圣塔菲研究所在复杂性研究中选择计算机作为最基本工具,通过计算机仿真推动复杂系统仿真。

1994 年,美国学者霍兰(J. Holland)正式提出了复杂适应系统(Complex Adaptive System,CAS)理论。

1999 年,《科学》(*Science*)杂志出版复杂系统专辑,标志复杂系统已经成为世界最大热门研究之一。

### 1.2.2 国内研究综述

《工程控制论》(*Engineering Cybernetics*)杂志分别在1954年、1978年、1982年对系统科学研究中取得令人瞩目的开创性成果，哈肯(H. Haken)以书面形式称赞道："系统科学的概念是中国学者较早提出的，这对理解和解决现代科学，推动它的发展是十分重要的。中国是充分认识到系统科学巨大重要性的国家之一。"

1989年，钱学森提出"开放的复杂巨系统"的概念。开放的复杂巨系统的主要特性有：①开放性，系统对象及其子系统与环境之间有物质、能量、信息的交换；②复杂性，系统中子系统的种类繁多，子系统之间存在多种形式、多种层次的交互作用；③进化与涌现性，系统中子系统或基本单元之间的交互作用，从整体上演化、进化出一些独特的、新的性质，如通过自组织方式形成某种模式；④层次性，系统部件在功能上具有层次关系；⑤巨量性，数目极其巨大。

同年，钱学森提出了开放的复杂巨系统的方法论，即"从定性到定量的综合集成法"(Meta-Synthesis，简称综合集成方法)。

1992年，钱学森拓展了综合集成方法，提出人机结合、"从定性到定量的综合集成研讨厅体系"(Hall for Workshop of Meta-Synthetic Engineering，HWMSE，简称研讨厅体系)。

1998年，白方周出版国内第一部定性仿真专著，系统地介绍了定性仿真、模糊仿真及归纳推理等仿真方法。

2001年，钱学森出版《创建系统学》专著。

2004年，王飞跃提出人工社会、计算实验、平行系统(Artificial Societies，Computational Experiments and Parallel Systems)的建模方法。同年《复杂系统与复杂性科学》杂志创刊。同年，《系统仿真学报》举办百期纪念会，在复杂系统研究中涌现出大批的学者，如王飞跃、戴汝为、张嗣瀛、刘晓平、于景元、陈国良、李伯虎、王正中、王子才等。复杂系统已经成为热门研究之一。

### 1.2.3 国内外复杂性科学研究比较

**1．我国的特点**

我国传统的哲学基础是"天人合一"，因此，我国学者在复杂性的研究中更注重"人"在复杂系统中的特殊作用，更注重系统的"定性与定量相结合"。

**2．存在的差距**

(1) 缺乏学科整合的组织基础。美国的圣塔菲研究所作为多学科交叉的研究中心，一直引领着世界复杂性科学研究的方向，而中国科学院自动化研究所系统复杂性研究中心在这方面仅是一个尝试。

(2) 缺乏定量研究。我国学者对复杂系统的量化手段有限，虽然提出了定性与定量

相结合的研究方法,但理论和方法上仍没有大的突破。

(3) 缺乏应用实践。国外在复杂性研究中有众多的现实应用案例,拥有大量的可应用的模型,而我国的复杂性研究主要集中在理论分析方面,在可应用的模型方面差距较大。

# 1.3 社会网络分析的研究综述

社会网络分析(Social Network Analysis,SNA)就是对社会关系结构及其属性加以分析的一套规范和方法,它主要分析的是不同社会单位(个体、群体或社会)所构成的关系的结构及其属性。社会网络分析涉及的领域有现代社会学、人类学、社会语言学、地理、社会心理学、通信技术、资讯科学、组织研究、经济学以及生物学等。社会网络分析用于建立社会关系的模型,发现群体内行动者之间的社会关系,描述社会关系的结构,研究这种结构对群体功能或者群体内部个体的影响。

目前,社会网络分析主要有以下两个方向。

(1) 对社会网络的参数进行估计和测量,这些参数主要包括网络规模、节点个数、节点之间的距离、节点可达性、聚类系数等。通过分析比较社会网络的各项参数,有利于揭示网络节点之间是如何相互作用的,以便了解社会网络的发展方向。

(2) 分析社会网络的网络结构和内容,发现网络中具有特征的局部结构和关键节点,如社区识别、社团结构发现、网络核心人物挖掘等。

传统的社会网络分析方法是静态性的,不能处理大规模、动态、多模、多边的具有多层、不确定性的网络,经过扩展,Carley(2003)提出了动态网络分析(Dynamic Network Analysis,DNA)。

## 1.3.1 社会网络分析的发展历程

### 1. 社会网络分析

20 世纪 30 年代,英国著名人类学家布朗在对网络结构进行研究时最早提出“社会网络”的概念。它对心理学、情报学、信息检索、社会学等多个领域的发展研究都起着举足轻重的作用。

20 世纪 50 年代早期,曼彻斯特学者 Barnes 在分析挪威渔村的社会结构时使用“社会网络”一词。

20 世纪 50 年代中期,Bott 用“网络”作为分析工具,分析英国一些家庭中亲属关系所表现出来的不同模式;Chapple 和 Arensberg 试图用数学的方法对哈佛学者的研究数据进行分析。

20 世纪 60 年代,Flament 发表《图论在组织结构上的具体应用》。同时期,一些荷兰学者对互锁董事权力进行了研究。

20 世纪 70 年代社会网络理论走向成熟。以哈佛大学学者 Harrison C. White 为代表,包括他的同事和学生的研究,被学者 Freeman 认为是社会网络分析的“文艺复兴时期”。这段时期哈佛取得突破,原因包括:①有数学导向的结构分析,对所有类型的社会结构进行了模型化处理;②计算机处理能力和速度有飞速发展,使得研究者有可能对网络分析所产生的几何级数进行分析、处理。重要突破主要体现在数学上的两个创新,即块模型(Block Modeling)和多维量表(Multidimensional Scale)。

1973 年,White 的学生 Mark Granovetter 提出著名的“弱纽带”(Weak Tie)概念。

1975 年,Dartmouth 会议吸引了大批来自美国和欧洲的从事社会网络研究的社会学家、人类学家、社会心理学家和数学家等。

1977 年,专门性的杂志《联络》(*Connection*)创刊,它是 White 的学生 Wellman 创办《社会网络分析国际网络》(*International Network for Social Network Analysis*, *INSNA*)的通信性刊物。

1978 年,学者 Linton C. Freeman 创办有影响力的《社会网络》(*Social Networks*)杂志。社会网络分析在其发展成熟过程中,一些关键人物和学派起了重要作用。社会网络分析的奠基者网络分析如图 1-6 所示。

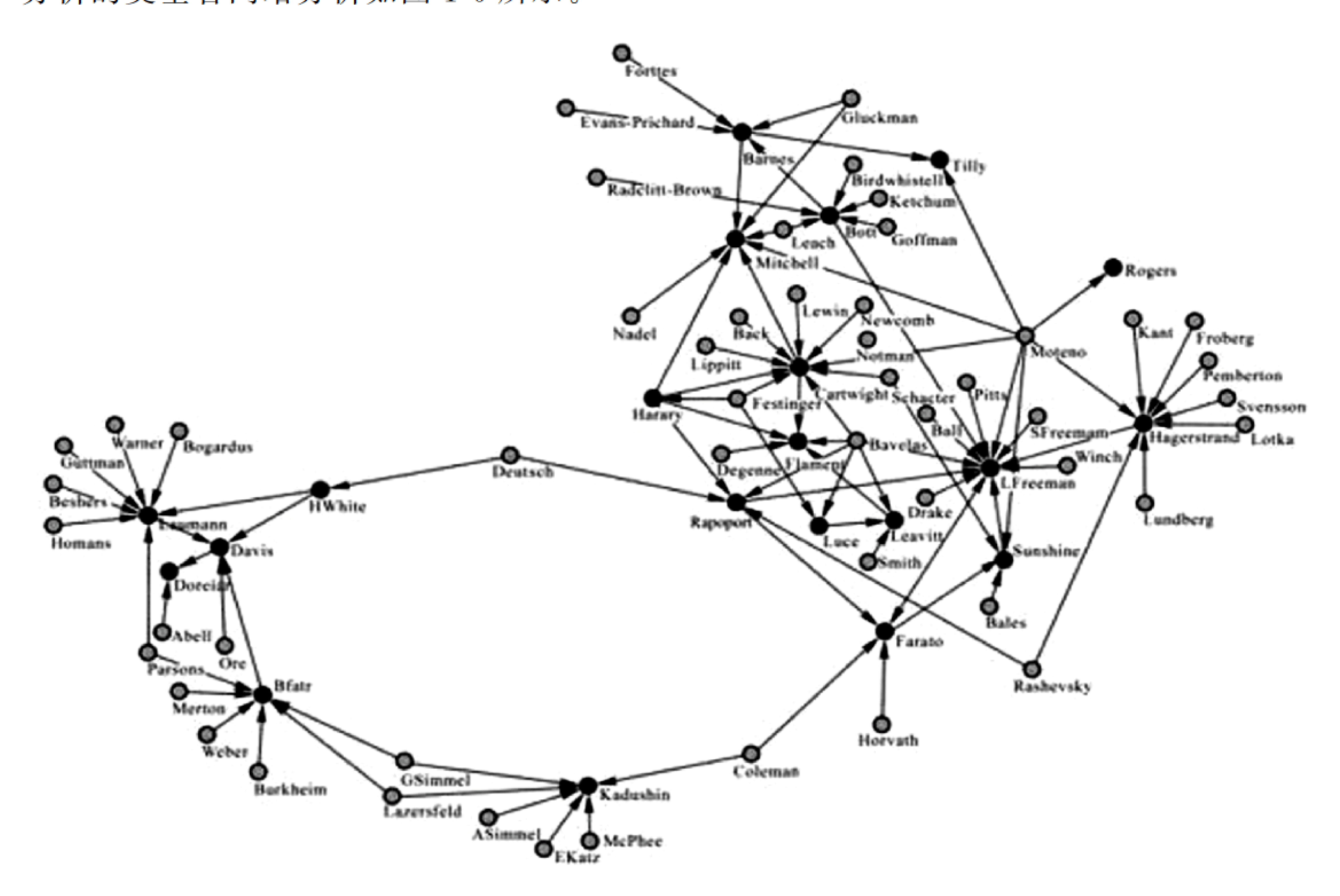



图 1-6 社会网络分析的奠基者网络分析(Liton C. Freeman)

1978—1981 年，美国国家科学基金会（National Science Foundation，NSF）资助的项目为 EIES 的 E-mail 系统吸引了 40 多个不同学科的网络学者的学科对话，并在 1981 年产生了首届 Sunbelt 社会网络大会，并且一直持续至今。

1981 年，Nan Lin 提出著名的“社会资源”（Social Resource）理论。

1982 年，Knoke 和 Kuklinski 出版第一部社会网络分析教材《网络分析》。

1988 年，Wellman 提出较成熟的社会网络的概念，即“社会网络是由某些特定群体间的社会关系构成的相对稳定的关系网”。随着应用范围的不断拓展，社会网络的概念已超越了人—机关系范畴，赋予网络中的“特定群体”和“关系”多种定义。

到 20 世纪 90 年代，社会网络分析开始广泛应用于多个研究领域，是一种新的社会学研究范式。

1991 年，Scott 出版《社会网络分析手册》。

1992 年，Burt 提出著名的“结构洞”（Structural Holes）理论，其代表作是《结构洞：竞争的社会结构》。

1994 年，Wasserman 和 Faust 出版《社会网络分析方法和应用》。

多家杂志组织网络分析问题的专题讨论，如 1997 年的《管理科学》杂志，1998 年的《管理与组织的国际研究》《组织科学》《组织研究》《战略管理》等杂志。Wellman 等专家则对“计算机网络支持的社会网络”（Computer Supported Social Networks，CSSN）进行了深入研究。

**2．动态网络分析**

1998 年，Watts 和 Strogatz 在《自然》（*Nature*）杂志上提出“网络动态学”（Dynamics on Network）。

2002 年，在华盛顿召开了一次社会网络分析工作坊（Workshop），有 20 多位这一领域的专家提交了论文，包括 Linton C. Freeman、Harrison C. White、Noah E. Friedkin、Stanley Wasserman、Kathleen Carley、Stephen Borgatti 等。整个工作坊讨论的主题是基于以下 4 个方面的认识：①网络理论和方法论这两个方面在过去的十多年间都有了迅速发展；②社会网络分析通过许多新路径跟其他研究领域的技术与理论结合起来了；③许多已有的分析工具、度量方法和理论在更大规模和（或）动态网络情况下需要重新审视；④对社会网络的应用研究工作扩大了。

2003 年，Kathleen Carley 提出“动态网络分析”（Dynamics Network Analysis，DNA）。

其后，社会学与经济学、心理学和管理学等学科交叉渗透，产生跨学科的新研究领域，如社会物理学（Mirowski，1991）、金融物理学（Mantegna 和 Stanley，2000）、计算组织理论（Carley，2002）及计算社会学（Lazer et al，2009）。“9·11”等事件发生后的动态网络分析如图 1-7 所示。

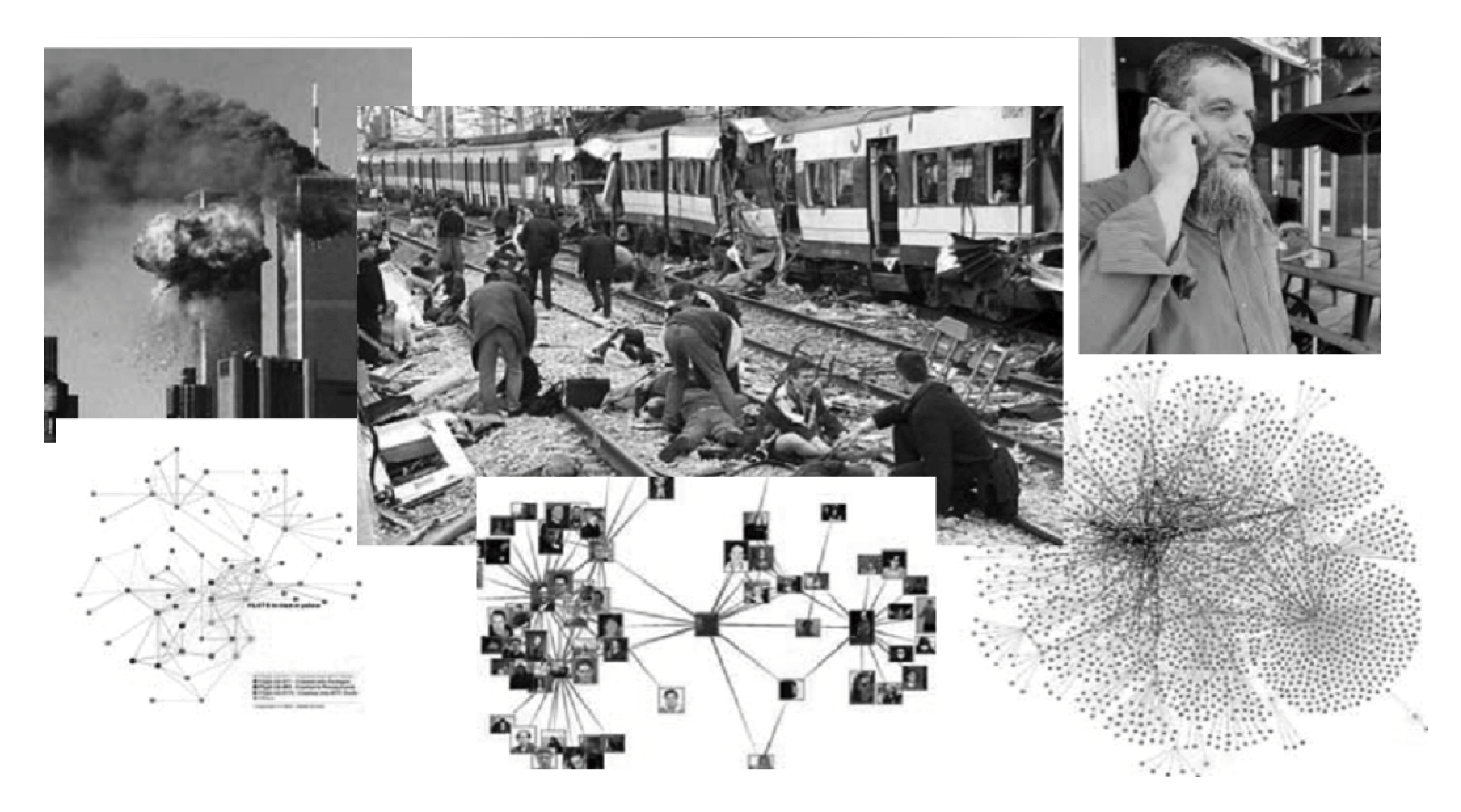


图 1-7 “9·11”等事件发生后的动态网络分析

## 1.3.2 社会网络分析的经典理论

### 1. “六度分隔”理论

1967 年，斯坦利·米尔格拉姆(Stanley Milgram)最先发现“六度分隔”(Six Degrees of Separation)现象。“你和任何一个陌生人之间所间隔的人不会超过 6 个，也就是说，最多通过 6 个人你就能够认识任何一个陌生人。”人类社会呈现聚类性与平均距离较短的特性，即小世界性。“六度分隔”说明了社会中普遍存在的“弱纽带”，但是却发挥着非常强大的作用。通过弱纽带，人与人之间的距离变得非常“相近”。

### 2. 150 法则

从欧洲发源的“赫特兄弟会”是一个自给自足的农民自发组织，这些组织在维持民风上发挥了重要作用。有趣的是，他们有一个不成文的严格规定：每当聚居人数超过 150 人的规模，他们就把它变成两个，再各自发展。

“把人群控制在 150 人以下似乎是管理人群的一个最佳和最有效的方式。”

150 成为普遍公认的“我们可以与之保持社交关系的人数的最大值。”无论你曾经认识多少人，或者通过一种社会性网络服务与多少人建立了弱链接，那些强链接仍然在此次此刻符合 150 法则(Rule of 150)。这也符合“二八”法则，即 80% 的社会活动可能被 150 个强链接所占有。

### 3. “弱纽带”理论

1973 年，马克·格兰诺维特(Mark Granovetter)提出“弱纽带”(Weak Tie)理论。开

创性地将纽带分为“强纽带”(Strong Tie)和“弱纽带”(Weak Tie)。提出了纽带强度的4个维度,即互动频率、情感强度、亲密程度和互惠交换。弱纽带比强纽带更有强度,因为强纽带是连接相似者之间的纽带,传递的信息往往雷同,获得的信息重复性很高。而弱纽带是在群体、组织之间发生的,是联系不相似个体之间的纽带,来自不同群体的不相似的个体所了解的事物往往也不同。能够充当信息桥的必定是弱纽带。

**4. “社会资源”理论**

1981年,林南(Nan Lin)提出“社会资源”(Social Resource)理论。社会资源是“内嵌在个人社会网络中的资源,是通过个人的直接与间接的关系可获得财富、地位、权力以及关系”。林南提出了社会资源理论的三大假设:①社会资源命题(Social Resources Proposition);②地位强度命题(the Strength-of-Positions Proposition);③关系强度命题(the Strength-of-Ties Proposition)。

**5. “结构洞”理论**

1992年,罗纳德·伯特(Ronald Burt)提出“结构洞”(Structural Holes)理论。社会网络中,某些个体与个体发生直接联系,有的关系间断(Disconnection),从网络整体看好像网络结构中出现了洞穴。伯特称这种关系稠密地带之间的稀疏地带为“结构洞”。弥补结构洞是一种网络再生产行为,当个体处于“结构洞”位置,位于机会的中间体,能更有效地获得利益。因此,社会网络中“结构洞”多的竞争者具有更多的关系优势,并可获得更多的利益回报机会。

## 1.3.3 知名研究机构或团队

世界知名的以复杂社会网络研究为主要方向之一的机构和团队如表1-1所示。

**表1-1　以复杂社会网络研究为主要方向的机构和团队**

| 序号 | 研究机构或团队名称 | 领导或代表 |
|---|---|---|
| 1 | 哥伦比亚大学的集体动力学研究组 | Watts, Dodds |
| 2 | 康奈尔大学的网络和社会动力学研究组 | |
| 3 | Essex大学研究小组 | Goyal, Galleotti |
| 4 | 加州理工大学的Lee Center of Advanced Networking | |
| 5 | 圣母玛利亚大学复杂网络研究中心 | Barabási |
| 6 | 复杂网络合作实验室 | Vespignani, Barrat |
| 7 | 美国西北大学复杂系统研究所 | Hopp, Uzzi, Amaral |
| 8 | 圣塔菲研究所 | Arthur, Newman, Strongatz |
| 9 | 耶路撒冷希伯来大学营销复杂性研究组 | Goldenberg |
| 10 | 哈佛大学演化动力学实验室 | Nowak |

# 1.4 复杂系统建模与仿真方法

20 世纪 50 年代后，随着仿真科学与技术、计算机技术的飞速发展，建模与仿真技术和高性能计算技术相结合，正成为继理论研究和科学实验之后的第三种认识和改造客观世界的重要方法（李伯虎等，2004）。“复杂性”科学的研究推动了计算机仿真技术的发展，计算机仿真技术也成为“复杂性”科学研究的一种有效可行的方法和工具。复杂系统与仿真的结合形成复杂系统仿真，社会仿真是复杂系统建模与仿真的子集。

刘晓平将复杂系统的建模与仿真方法分为 7 类，如图 1-8 所示。

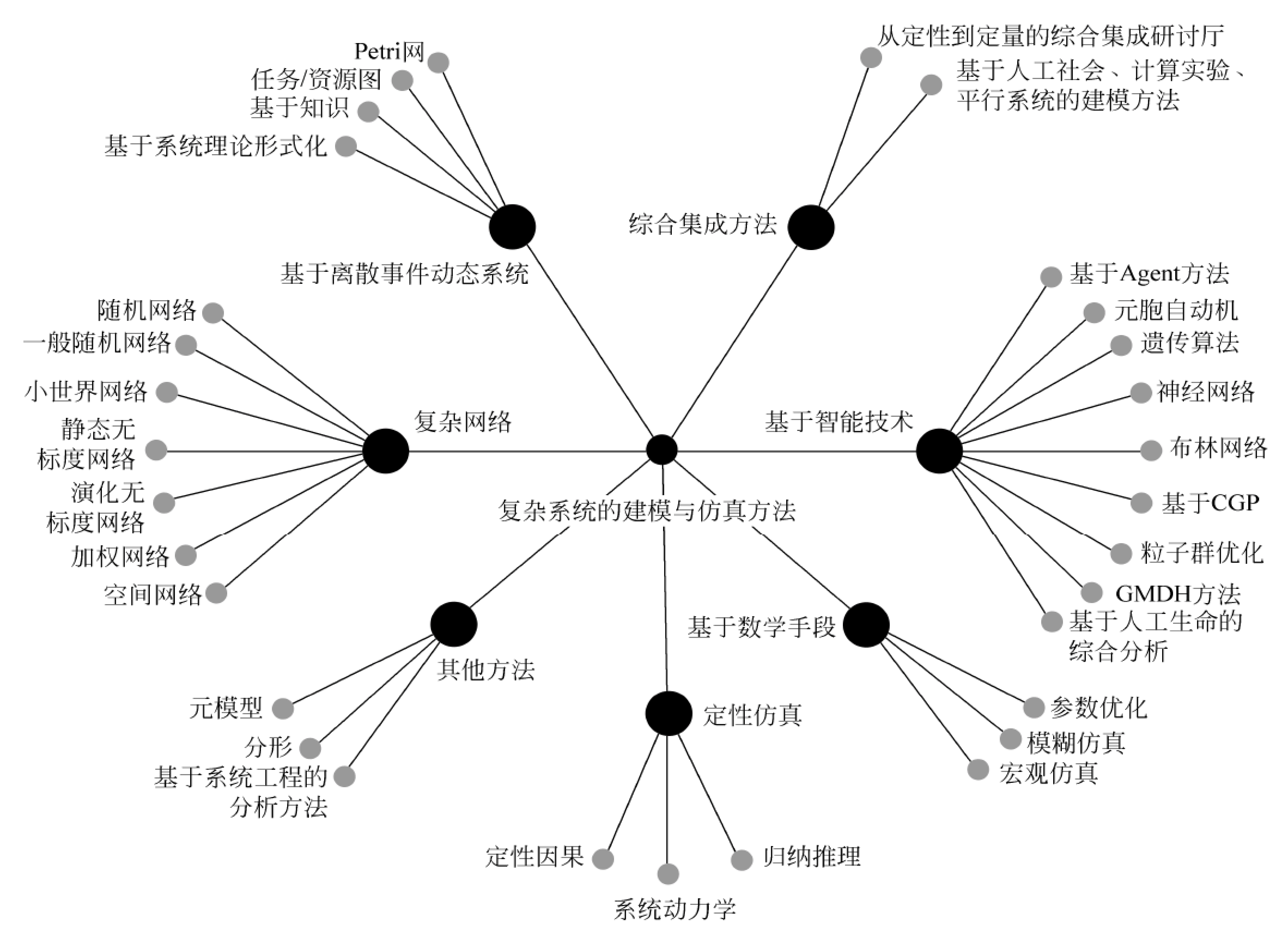



图 1-8　复杂系统的建模与仿真方法分类

（刘晓平，2008）

## 1.4.1 基于智能技术的复杂系统建模与仿真方法

### 1. 基于 Agent 的建模与仿真

Agent 是具有行为自主性的高级对象，Agent 的自主性表现在它对环境的适应性和

对不完全信息的处理能力，使它能实时规划、推理和搜索，形成更实用的人工智能，从而适应复杂系统建模与仿真的技术需求，因此基于 Agent 的建模与仿真是研究复杂系统的重要手段。目前对生态系统、社会系统、经济系统以及人类组织、军事对抗等领域进行了大量的研究。

**2. 元胞自动机**

元胞自动机(Cellular Automata，CA)是一时间和空间都离散的动力系统，散布在规则网格中的每一元胞(Cell)取有限的离散状态，遵循同样的作用规则，依据确定的局部规则作同步更新，大量元胞通过简单的相互作用而构成动态系统的演化。元胞自动机是用一系列模型构造的规则构成，凡是满足这些规则的模型都可以算作是元胞自动机模型。

**3. 遗传算法**

遗传算法通过选择、交叉、变异算子来实现群体的不断优化，利用简单的编码技术和繁殖机制来表现复杂的现象，从而能够解决非常复杂的问题。

**4. 神经网络**

神经网络首次把大脑活动视为信息加工的形式来认识，从而开创了用形式化方法研究大脑和神经系统的可能。它模拟了人脑的一些功能，已经初步具备了自适应能力与自组织能力，在学习或训练过程中改变突触权值，以适应周围环境的要求。由于复杂系统的演化过程与智能学习过程的相似性，可用来解决复杂问题。

**5. 布林网络/基因网络**

布林网络的原理基于遗传回路和调节基因的遗传理论。遗传学研究发现，人类基因中存在着几百个基因具有控制和调节其他基因活动的功能，它们组合成基因网络，类似一个复杂的反馈系统，其间的开关组合控制了基因的结构形式，从而达到某种结果。布林网络是唯一能描述大规模基因水平的基因网络，它被用于生命起源仿真和生态系统仿真。

**6. 粒子群优化算法**

粒子群优化算法是基于群体智能理论的优化算法，通过群体中粒子的合作与竞争产生的群体智能指导优化搜索，是一种高效的搜索算法。

此外，还有基于 CGP(有约束的产生过程)的建模方法、基于“人工生命”的综合分析方法、成组数据处理方法(GMDH)等复杂系统建模与仿真方法。

## 1.4.2　基于离散事件动态系统的复杂系统建模与仿真方法

基于离散事件动态系统的复杂系统建模与仿真方法有 Petri 网、任务/资源图建模方法、基于知识的建模与仿真方法、基于系统理论形式化的建模与仿真方法等。Petri 网是其中重要方法，尤其是面向对象的 Petri 网建模方法(OOPN)。Petri 网是由库所、变迁和

连接库所与变迁的有向弧组成的图形研究工具，是一种研究系统组织结构和动态特性的理论，特别适合于对异步并发系统的建模与分析。Petri 网目前主要用于人工交通系统等复杂系统。元胞自动机也可以分到基于离散事件动态系统类，因为它是时间和空间都离散的动力系统。

### 1.4.3 定性建模与仿真方法

定性建模与仿真方法分为定性因果方法、系统动力学、归纳推理方法。

**1. 定性仿真基本理论**

定性仿真（Qualitative Simulation）与传统的定量仿真（Quantitative Simulation）是相对而言的，定性仿真采用非数字手段，处理信息输入、建模、行为分析、结果输出等环节，通过定性建模推导系统的定性行为表述，它是系统仿真的一个分支。与传统的数字仿真相比，定性仿真技术的优势表现在处理不完备知识和“深层”知识以及决策等方面。

在定性仿真的研究中，美国学者起步较早。20 世纪 70 年代后期，美国 XEROX 实验室的 J. D. Kleer 和 J. S. Brown 首先提出了基于流（Confluence）的概念的定性推理理论。1983 年，Kleer 和 Brown 发表了有关定性仿真的第一篇论文——*A Qualitative Physics Based On Confluence*，产生了巨大反响，揭开了定性仿真研究热潮的序幕。美国麻省理工学院 K. D. Forbus 则对定性仿真理论作了全面的总结；1986 年，美国得州大学的 B. J. Kuipers 在 *Qualitative Simulation* 一文中提出了动态仿真算法 QSIM，使定性仿真接近于实用。1984 年，《人工智能》杂志第一次出版了关于定性问题的专集；1991 年，《人工智能》杂志又出版了有关定性推理的第二本专集，标志着该领域理论研究逐渐成熟，并且向应用领域扩展。自20 世纪 90 年代以来，该领域的研究情况可谓方兴未艾，在 IEEE 的相关杂志上经常可以看到定性仿真方面的研究成果，而国内该领域的研究起步较晚，目前从事定性理论研究的仅限于少数院校的少数研究者。

Shen 和 Leitch 利用模糊集将 QSIM 的量空间划分为有限的区间，用模糊隶属函数描述系统的状态变量。Guerrin 和 Dumas 将 QSIM 用于鲑鱼产卵行为的仿真。Say 和 Akyn 则深入研究了 QSIM 原理，从理论上证明 QSIM 仿真结果的不完备性。因此，为了改进 QSIM 方法，Q2、Q3、模糊定性仿真、并行 QSIM 算法等相继被提出。由此可见，基于 QSIM 方法的定性仿真应用研究，应根据不同的仿真对象，对 QSIM 进行相应改进或者集成其他各种方法来进行。

Iwasaki 和 Simon 用因果推理（Causal Reasoning，CR）方法仿真研究物理系统的行为，主要是动静态混合行为。随后学者 Salvaneschi 等在因果推理中集成了定量信息，为解释和仿真物理系统的行为，对该系统进行抽象、建模。CR 也应用到经济领域。Lin 和 Farley、Berndsen 应用 CR 方法解释经济系统的行为。Berndsen 和 Daniels 受 QSIM 的启发，增加了 derive、sc、exo 等约束。目前，无论是对物理系统还是经济系统，CR 方法都只起到解释的作用，离辅助决策尚有差距。但这些定性仿真方法的研究对实现复杂管理

系统的仿真提供了重要思路。

目前定性仿真主要分为 3 个理论派别，即朴素物理学方法、基于归纳学习的方法和模糊仿真方法。

归纳推理法是定性仿真的一个新方向，它起源于通用系统理论，主要利用通用系统问题求解(General System Problem Solve)技术来实现定性仿真，即在系统中输入尽可能多的行为，通过归纳学习的方式，构造系统的定性模型，进行仿真研究。归纳推理法的优势在于它完全不需要对象系统的结构信息，不需要预先提供任何模型。但是，这种方法需要采集大量的数据并处理和维护，而且由于现实条件的限制，不能保证归纳的完备性。

模糊数学方法可以解决模型信息与测量数据的不确定性，在定性理论中可以作为一种描述手段。最初，系统的定性值是采用区间模糊数的行为来描述的，后来，英国的 Q. Shen 进一步将其发展到用凸模糊数来描述定性值，在数据表示上前进了一大步。此后，又有人在其基础上引入了概率论，来度量生成的多个行为的可信度。模糊定性理论当前的一大弱点是，系统真实值与模糊量空间的映射问题，即如何确定描述系统的模糊量。

朴素物理方法源于一些人工智能专家对朴素物理系统的定性推理和研究，它是现今在理论和应用上最有影响力的。根据系统建模方式的差异，又可细分为很多流派，主要有 K. D. Forbus 的定性过程理论、Brown 和 Kleer 的基于流(Confluence)的理论、B. J. Kuipers 基于约束的用定性微分方程描述的定性仿真理论等。

总体来说，定性推理的理论可分为定性模型的建立和基于定性模型的仿真方法两个部分。仿真研究的基础是实际系统抽象为模型。研究者们在定性推理的发展过程中主要提出了以下三类建立系统定性模型的方法：其一主要是 Forbus 的定性过程理论(QPT)和 KuiPers 的定性仿真理论(QS)，它们把系统看作许多典型的基本环节的相互组合，定性地描述这些环节和它们之间的关系；其二是采用既可描述定性关系又可描述定量关系的集成代数理论，统一地描述系统，如 Williams 的定性代数理论；其三是把系统根据定性和定量两部分分别采用不同的方式建模。这几种方法都试图从系统的物理结构导出相应的约束来建立系统的定性模型。其中 Forbus 的定性过程理论对定性空间的定义和描述是很准确的，它侧重于定性模型的建立。

定性仿真是从系统定性模型约束方程和系统的初始状态推导出系统的定性行为。它是基于定性模型进行推理，用以产生系统定性行为的过程。定性仿真实质上是一种推理而非计算的过程，因为定性模型本身就含有定性知识。详细地说，就是在约束方程的制约下，从系统的初始状态出发，逐步推导出系统的后继状态，最终由这些状态构成系统行为的过程。

定性仿真目前仍然是新兴的研究领域，很多基础性的理论工作尚待进一步完善，因此该领域的发展前景十分广阔。概括来说，定性仿真理论有以下几个发展方向。

(1) 采用定量与定性相结合的仿真方法。当实际系统很复杂时，定性仿真会产生相

当数量的不合理行为，如何有效地减少定性仿真产生的多余行为，很多研究者考虑用定量与定性结合的仿真方法，通过在定性仿真中加入定量知识，增加约束条件，以减少系统的预测行为数，增强定性仿真的生命力。

(2) 采用模型分解方法。模型分解方法将系统模型分为若干部分，称为部件(Component)，联系紧密的变量将集中在一个部件中。为每个部件建立状态，系统描述以这种状态为单位，部件之间可以通过连接产生影响。在仿真算法上，以局部的部件描述为基础的仿真取代以全局状态为基础的定性仿真算法，大大提高了模型建立效率，降低了运行代价。

(3) 采用并行定性仿真方法。在定性仿真技术的应用中，定性仿真在某些情况下比定量仿真的速度更慢，这主要是因为信息的不完备及参数数量的增加使问题的规模呈指数增长，系统的搜索空间不断扩大，仿真的速度也显著降低。而采用并行定性仿真方法能较大幅度地提高定性仿真的效率，因此，它作为一个新兴的发展方向已成为目前最有前途的建模工具，尤其对离散事件系统的定性仿真有着更为广泛的应用。

**2. 定性仿真在复杂管理系统中的应用**

定性仿真在某些方面具有定量仿真无法取代的优势。诸如社会系统等许多复杂的管理系统都具有开放性，因为其结构无法用定理或者公式表达，类似的变量也无法用定量的数学模型描述，所以无法采用定量仿真。但是人们可以用定性的方法来描述。例如，用“增加、不变、减少”来表示变化趋势，用“优、良、中、差”来表示程度，这正是定性仿真相对于定量仿真的优势。鉴于定性仿真在处理不完全知识以及模糊数据方面的优势，它在人文科学、社会科学、经济学、管理学等方面的应用研究具有重要地位。

1990 年，H. Daniels、A. J. Feelders 构建定性仿真模型研究商业行为的变化，如广告投入与公司销售量的关系、公司资产降低的原因分析、公司可能存在的经营危机等。该模型也可运用于银行贷款之前的商业调查，荷兰的 AMRO 银行对此进行了深入的研究。

1994 年，M. E. Nissen 运用定性仿真建立了对组织微观过程的表述和仿真系统，并且通过若干案例来证明该系统的有效性。

1995 年，瓦特(G. J. Wyatt)比较了传统定量仿真模型和定性仿真模型技术，并建立一个购房和抵押的相互作用市场的简单动力模型。大量的比较分析显示，定性仿真在实际运用中是有效的，但是有时会造成行为的描述模糊。

1999 年，M. R. Gatersleben 针对机场乘客的管理问题的研究建立了动态仿真模型。他通过观察，收集乘客大量的行为数据，描述分析其行为特点，使用 ARENA 进行编程仿真，探讨导致乘客在机场中可能出现拥挤的成因，从而为提高机场管理提供决策支持。

1999 年，P. Berends 和 G. Romme 研究了仿真技术在社会管理领域中的应用，如制造和后勤系统的优化问题。然而仿真技术的应用却相对滞后：①复合问题被看成是各个构成因素的简单叠加，却忽略了因素之间的非线性关系和反馈环节的复杂作用；②社会领域的研究往往忽略了学科之间的相互作用，而过于注重其专业性；③运用的研究方法

主要是物理学中“基于实际观察”,而忽视开发科学实用的规则来管理社会系统。

在国内,华中科技大学管理学院的胡斌、夏功成、吴江等深入研究了对企业群体行为的定性仿真技术,成果显著。

### 1.4.4　复杂网络建模与仿真方法

复杂网络采用图论作为精确数学处理的自然框架,形式上可用图论中的“图”来表示。复杂网络的定义和符号体系主要涉及节点的度、度分布、相关性、最短路径长度、直径、介中性、聚类系统、模体、社会结构和图谱等。尽管实际网络内在不同,但具有相同的拓扑属性,如较短的特征路径、较高的聚集系数、度分布的胖尾形状、度相关性、模体和社团结构,而其中最重要的几个属性为小世界效益、无标度分布、度相关性和聚类特征。

复杂网络主要包括以下几类模型。

**1. 随机网络**

网络是节点与连接的集合。如果节点按随机方式连线,所得到的网络就称为随机网络。20 世纪 50 年代末,匈牙利数学家 Erdös 和 Rényi 首次将随机性引入到网络中来,提出了著名的“ER 随机网络模型”。ER 模型以简单和随机连接的思想在很长时间内被许多人所接纳,从 20 世纪 60 年代开始到 1998 年之前将近 40 年的时间里,ER 随机网络模型一直是复杂网络研究的基本模型。然而真实的社会网络并非是完全随机的,随机网络的缺陷也是显而易见的。

**2. 一般随机网络**

为了更好地表达实际网络,特别是其非泊松分布的简单属性,ER 模型可以通过不同的方式扩展。由 Bender 和 Canfield 引入的配置模型可根据度序列建立图,配置模型的简单性,使得它成为很好的分析方法。Newman 等提出了一个略微不同的方法来产生具有给定度分布的图,其中节点的度是服从独立同分布的随机整数。

**3. 小世界网络**

其典型代表是 Watts 和 Strongatz 提出的“WS 小世界模型”,它同时具有小世界属性和高的聚集系数。后来,纽曼(Mark E. J. Newman)和瓦茨(Duncan J. Watts)提出了“NW 小世界模型”,用“随机化加边”代替了 WS 小世界模型构造中的“随机化重连”。

**4. 静态无标度网络**

大量的关于实际网络的拓扑属性的研究激发了人们构建服从幂律分布的网络,称为静态无标度网络。其中具有代表意义的研究有 Aiello 等研究了仅含两个参数的模型、Caldarelli 等研究了与其类似的适应度模型等。

**5. 演化的无标度网络**

实际网络的许多例子说明结构的改变是由系统的动态演化决定的,因此对演化的研

究非常重要，其主要目的是再现发生的实际网络中的生长过程。通过仿真生成网络的动力学机制，可以再现系统的结构属性。其中一类典型代表是 Barabási 和 Albert 提出的"BA 无标度网络模型"。另一类模型是由蛋白质相互作用启发的演化网络，如 SPSK 模型和 VFMV 模型等。

#### 6. 加权网络

复杂系统除了具有复杂的拓扑结构外，许多实际网络在连接的容量和密度方面都表现了很大的异质性。例如社会网络中的个体之间存在弱的和强的纽带，在新陈代谢路径中存在不均代谢物等，这些系统均可用加权网络来更好地描述，加权网络的每条边带有一个度量连接强的实数值。

实际的加权网络有生物网络（如细胞网络）、社会网络（如合作网等）、技术网络（如因特网）等。

#### 7. 空间网络

空间网络是指嵌入在实际空间的网络，即网络中的节点占据着二维或三维空间的一个确定的位置，它们的边是实际物理连接。典型的例子有神经网络、信息通信网络、电力网、交通系统、蚂蚁群等。

### 1.4.5 基于数学手段的复杂系统仿真方法

#### 1. 参数优化方法

基于系统辨识和参数估计理论的目标函数最优化方法。

#### 2. 模糊仿真方法

基于模糊数学，在建立模型框架的基础上，对于观察数据的不确定性，采用模糊数学的方法进行处理。

#### 3. 宏观仿真方法

这是一种统计建模与仿真方法，用于宏观经济分析和社会政策研究。如美国的 ASPEN，相应的仿真软件有 MODGEN。

### 1.4.6 综合集成方法

#### 1. 从定性到定量的综合集成研讨厅

1992 年由钱学森提出，方法的特点是：面对复杂的难题时，要利用计算机、灵境技术、信息网络等现代信息技术和人工智能技术，组成人—机结合的智能系统，以人为主，将所需要的古今中外的有关知识、信息、数据，予以检索、激活、快速调集出来，启迪专家的心智，并通过民主讨论，让专家各抒己见，互相补充、互相激发，然后将各方面有关专家的理论、知识、经验、判断、建议等，综合集成起来，用类似"作战模拟"的方法，将解决方案建模试行，反复修正，以便能对复杂的事物（开放的复杂巨系统）发展变化的各子系统、各层次、

各因素、各功能及其相互关系等，从定性到定量都认识得比较清楚，逐步集智慧之大成，找到解决问题的最佳方案。

**2. 人工社会、计算实验、平行系统的建模方法**

2004 年王飞跃提出人工社会、计算实验、平行系统的建模方法。他认为，人工社会、计算实验、平行系统的这种结合，形成了一套利用计算手段研究一般复杂系统的理论和方法体系，为研究“主观性的倾向”及其心理作用提供了途径，并能够在社会、经济问题的研究中得到有效应用。

其主要思想是：基于人工社会的复杂系统建模方法；计算实验：从系统仿真到系统实验；平行系统：人工社会和实际社会的有机结合。

### 1.4.7　其他建模与仿真方法

**1. 元模型方法**

利用元模型技术进行复杂系统仿真的建模，利用元数据对不同类型的数据进行管理，可以在高于各类领域模型的层次上对模型进行分析和研究。

**2. 分形方法**

分形是事物从整体向局部深化、人的认识从宏观向微观深化的过程。分形包含两个基本特性，即分裂和不断细化的权限特性。

**3. 基于系统工程的分析方法**

基于系统工程的分析方法是一种自顶向下的方法，将研究对象看成是一个系统，对系统进行适当地分解，在适当的层次上通过对系统整体目标的研究，找到解决问题的途径。因此，正确地分析问题，确定问题的层次，寻找问题的核心，特别是处理好不确定性要素，就是分析方法的关键。

## 1.5　本书的主要内容及结构安排

### 1.5.1　本书的主要内容

本书共 9 章，其结构如图 1-9 所示。

### 1.5.2　本书的结构安排

第 1 章绪论，是复杂系统、社会网络分析的研究综述，并介绍了复杂系统建模与仿真方法以及全书的主要内容及结构安排。

第 2 章动态网络分析和第 3 章人工社会与社会仿真是全书的理论部分。第 2 章介绍了社会网络分析的概念、方法、层次与指标，社会网络模型包括规则网络、随机网络、小世界网络与无标度网络，动态网络分析是在社会网络分析之上的扩展，介绍了创新与演化

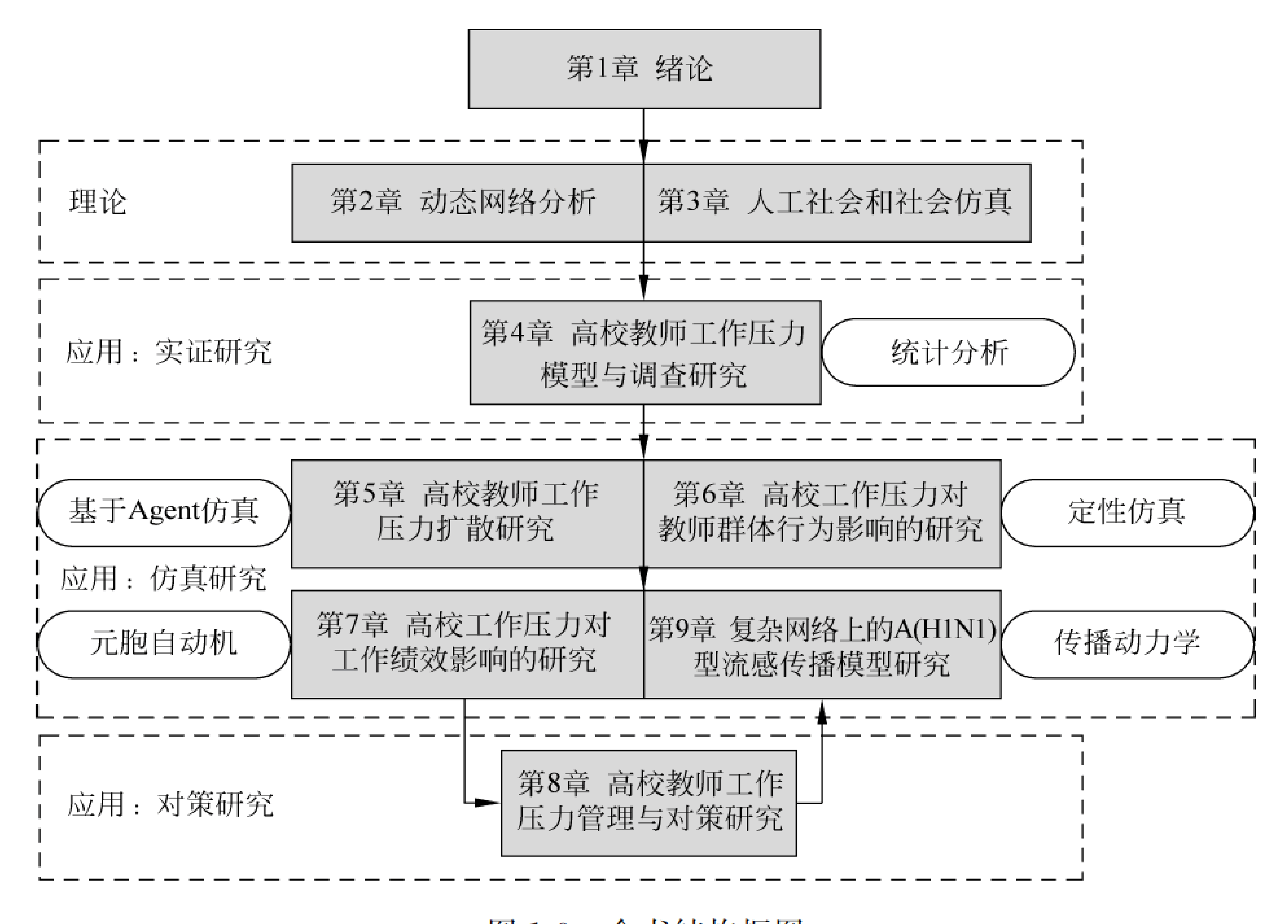



图 1-9　全书结构框图

过程，最后介绍了社会网络上的病毒传播动力学。

第 3 章介绍了人工社会的概念、构成与核心方法，复杂适应系统的核心思想、基本概念、特点以及复杂适应系统的建模与仿真，接着介绍了社会仿真的原因与目的，最后介绍了 3 种本书用到的社会仿真建模与方法。

第 4 章高校教师工作压力模型与调查研究，由理论进入应用，通过统计分析的方法进行实证研究。

第 5 章基于智能体仿真与复杂网络的高校教师工作压力扩散研究，运用基于 Agent 建模与仿真方法对工作压力的演化进行仿真研究。选择仿真软件 AnyLogic 对工作压力扩散进行仿真研究，并分析了仿真结果，为压力管理提供决策支持。本章利用扩散模型研究了组织中工作压力的动态演化规律，采用由下到上（Bottom Up）的研究方式，由个体到整体的视角，将系统的复杂性视为个体状态的涌现。

第 6 章基于定性仿真的高校工作压力对教师群体行为影响的研究，利用定性仿真方法，建立振荡均衡定性仿真模型，通过确认和应用，为压力管理提供决策支持。本章利用振荡均衡定性仿真模型研究了组织中工作压力对教师的影响，主要是对教师的群体行为的影响。相对组织中个体行为的随机性，其群体行为表现出确定性，创建了 OEQS 模型，研究了工作压力对教师群体行为的影响。

第 7 章基于元胞自动机的高校工作压力对工作绩效影响的研究，利用元胞自动机的

仿真方法，选择 Visual Basic 6.0 开发仿真系统，设计多个实验方案，通过工作压力对工作绩效影响的视角，为压力管理提供决策支持。本章利用 CA 模型研究了工作压力对高校的影响，教师的群体行为体现出高校的工作绩效。

第 8 章高校教师工作压力管理与对策研究，在应用领域属于对策研究。

第 9 章复杂网络上的 A(H1N1)型流感传播模型研究，运用病毒传播动力学进行了仿真研究。

CHAPTER 2

# 第 2 章 动态网络分析

本章在 1.3 节研究综述的基础上，系统介绍了社会网络分析基础、动态网络分析的基本理论以及社会网络上的病毒传播。从社会网络的概念、方法、层次到指标，社会网络模型主要介绍了规则网络、随机网络、小世界网络和无标度网络。动态网络分析对创新和演化过程进行了简单介绍。病毒传播模型和阈值模型以 3 种网络为视角。

目前，社会网络分析已被广泛应用于社会学、政治学、人类学和社会政策研究等多个领域。

## 2.1 社会网络分析基础

社会网络分析方法形成的技术基础是社会计量学（Sociometrics）和图论（Graph Theory），随着计算机技术和统计分析方法的发展而完善。欧拉（Euler）被公认为图论之父，是从他研究著名的“七桥问题”开始的。

哥尼斯堡（Konigsberg）是东普鲁士的一个城镇，在其城中有一条横贯城区的河流，河中有两个岛，两岸和两岛之间共架设 7 座桥。当地居民流传着这样一个有趣的问题：一个人能否依次走过所有的 7 座桥且每桥只经过一次，最后再返回出发点？这就是著名的“七桥问题”。

著名数学家欧拉在对这个问题进行分析之后，巧妙地将被河流分隔开的四块陆地抽象为 4 个“节点”（Vertex），分别用 $A$、$B$、$C$、$D$ 表示，而将连接这 4 块陆地的 7 座桥抽象这 4 个节点之间相互连接的 7 条“边”（Edge）。这样就得到了由 4 个节点和 7 条边构成的一个“图”（Graph），如图 2-1 所示。

经过简单抽象，原来的“七桥问题”可转化为以下的数学问题：从任一

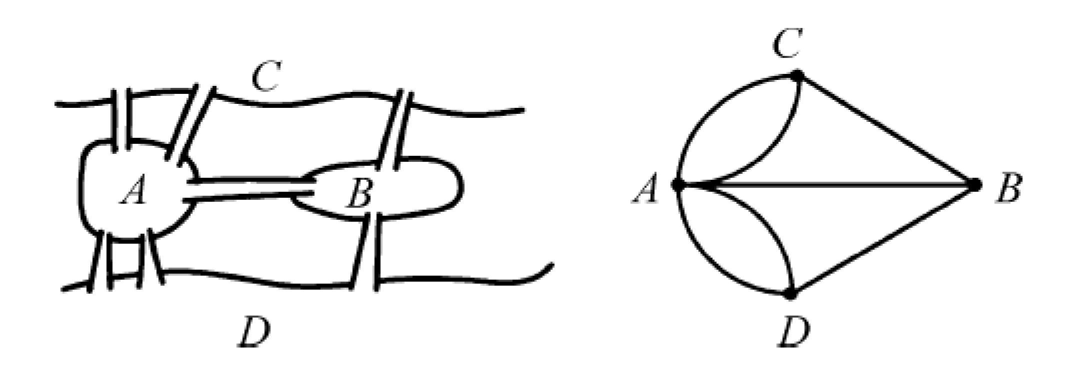



图 2-1　七桥问题示意图

点出发，恰好经过每条边一次而返回原点的回路是否存在？欧拉给出了存在回路的充要条件：如果起点和终点重合（回到原地），则每一点只能有偶数条边与之相连。因此，可以推出上述七桥问题是没有解的。

## 2.1.1　社会网络分析

### 1. 社会网络的基本概念

“社会网络”（Social Network）指的是社会行动者（Social Actor）及其相互间关系（Relation Tie）的集合。也可以说，一个社会网络是由多个节点（Node，或社会行动者）和各节点之间的连接（Link，或行动者之间的关系）组成的集合，如图 2-2 所示。

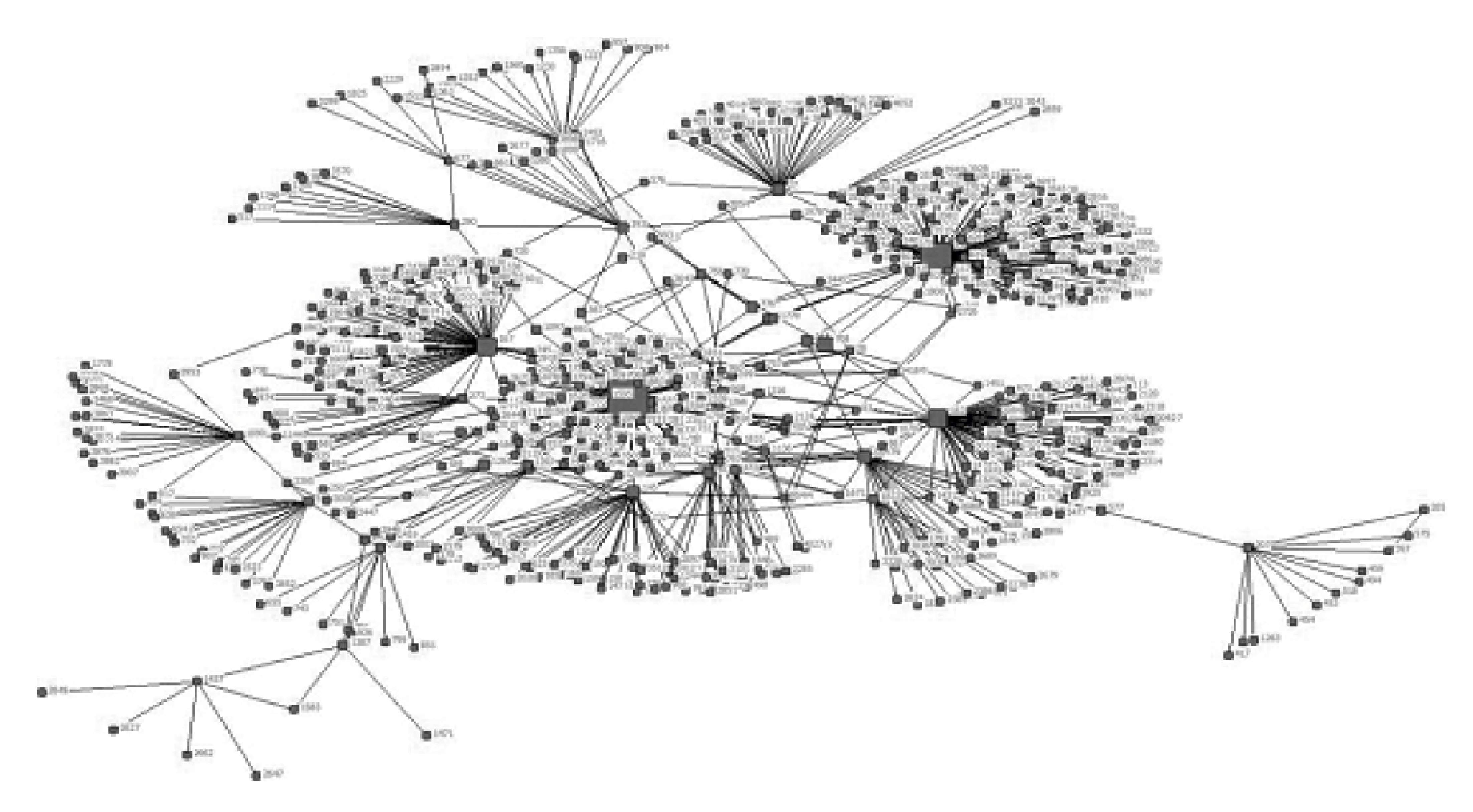


图 2-2　社会网络示意图

用点和线来表达网络，就是社会网络的形式化界定。下面对社会网络的概念作进一步的说明。

（1）点。社会行动者。社会网络分析中所说的“行动者”（Actors）可以是任何一个社会单位或者社会实体。例如，可以是个体、公司或者社会单位，也可以是一个教研室、学

院、学校，更可以是一个村落、城市、国家等。

(2) 关系。行动者之间的联系。社会网络代表着一种结构关系(Ties)，它可以反映行动者之间的社会关系。一般来说，当说行动者之间存在关系的时候，“关系”常常代表的是关系的具体内容，或者实质性的现实发生的关系，关系有以下多种表现。

首先，行动者之间的关系类型多样，可以是朋友关系、上下级关系、国家之间的贸易关系，也可以是城市之间的距离关系、邻里关系等，这完全视研究者的关注点而定。

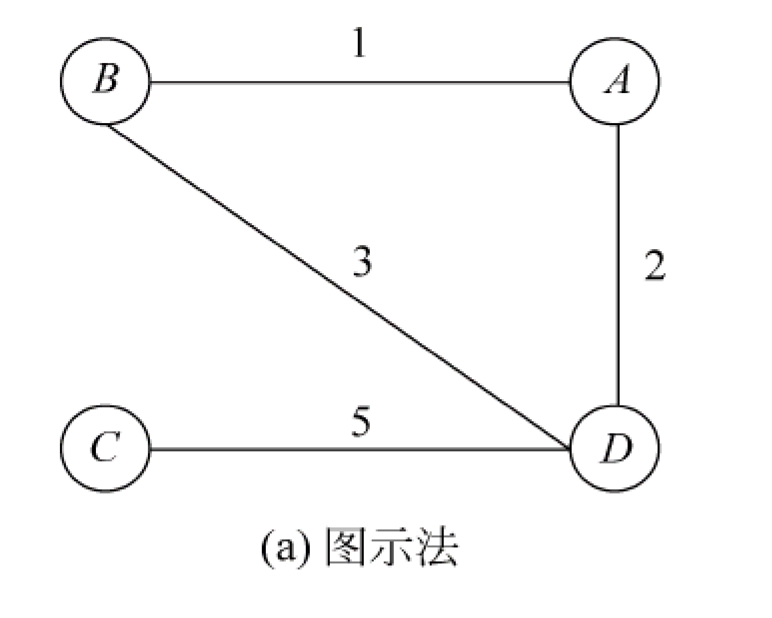
其次，学者还可以关注行动者之间的“多元关系”。通常的网络数据只关注一种关系，有时候也研究多种关系。例如，两个学生之间可能同时存在同学关系、友谊关系、恋爱关系等；两个国家之间可能存在贸易关系、外交关系、文化往来关系等。

再次，研究的重点不同，关注的“关系”也不同。如果研究整体网络，即研究所有行动者之间的关系，那么研究者需要分析具有整体意义的关系的各种特征，如互惠性、传递性等。如果研究个体网络，即关注个体行动者，则需要分析个体网络的一些关系特征，如关系的密度、同质性等。

综上，社会网络可简单地称为社会关系所构成的结构，而社会网络分析(Social Network Analysis, SNA)则是社会计量法基础上发展起来的对社会网络的结构、关系及其属性加以分析的一套规范和方法。

**2. 社会网络分析的方法**

社会网络分析的基本方法主要有两种，分别是图示法和矩阵法，如图 2-3 所示。




(a) 图示法

| | *A* | *B* | *C* | *D* |
|---|---|---|---|---|
| *A* | — | 1 | 0 | 2 |
| *B* | 1 | — | 0 | 3 |
| *C* | 0 | 0 | — | 5 |
| *D* | 2 | 3 | 5 | — |

(b) 矩阵法

图 2-3 社会网络分析方法示例

图示法是通过一组点、点与点之间的连线所构成的网络图形，直观地展现社会网络的概况，并可利用图形进行简单的关系分析。点表示社会学的分析单位，如个人、群体、组织、社区、制度等。点的特征就是这些分析单位所具有的特征。

网络中点可以分为三类：一是有直接关系的点；二是孤立点，它不与任何点发生关系；三是有间接关系的点。

根据关系的内容，可分为工具性的关系(如工作上的往来)、情感性的关系(如朋友关系)、咨询关系等。

矩阵法首先将社会网络用$(0,x)$矩阵表示出来，然后利用矩阵解析技术来分析复杂

社会网络中关系的分布与特征。一般采用计算机来处理。统计分析中的相关分析和因素分析等，也得引入社会网络分析。

图 2-3(a)所示为图示法，表示行为者 $A$、$B$、$C$ 和 $D$ 及其之间的联系，其矩阵表示如图 2-3(b)所示。该社会网络是一个加权网络，$A$ 与 $B$ 之间联系强度为 1，即连边的权重为 1，$A$ 与 $C$ 之间没有联系，$A$ 与 $D$ 之间的联系强度为 2；同理，$B$ 与 $C$ 之间没有联系，$B$ 与 $D$ 之间的联系强度为 3；$C$ 与 $D$ 之间的联系强度为 5。

**3. 社会网络分析的层次**

研究网络关系，有助于把个体间关系、“微观”网络与大规模的社会系统的“宏观”结构结合起来。传统上对社会现象的研究存在着个体主义方法论与整体主义方法论的对立。前者强调个体行为及其意义，认为对社会的研究可以转换为对个体行为的研究，但整体主义方法论强调只有结构是真实的，认为个体行为只是结构的派生物。

在社会学中，社会结构是在各不相同的层次上使用的，它既可用以说明微观的社会互动模式，也可用以说明宏观的社会关系模式。也就是说，从社会角色到整个社会，都存在着结构关系。

通常，社会学家们是在以下几个层次上使用社会结构概念的。

(1) 社会角色层次的结构(微观结构)。最基本的社会关系是角色关系。角色常常不是单一的、孤立的，而是以角色丛的形式存在着。它所体现的是人们的社会地位或身份关系，如教师-学生。

(2) 组织或群体层次的结构(中观结构)。它是指社会构成要素之间的关系，这种结构关系不是体现在个体活动之间，如职业结构，它所反映的是人们之间在社会职业地位及拥有资源等方面的关系。

(3) 社会制度层次的结构(宏观结构)。它是指社会作为一个整体的宏观结构，如阶级结构，它所体现的是社会中主要利益集团之间的关系，或者是社会的制度特征。

因此，社会结构有多重含义，但许多结构分析的社会学家主张社会学的研究对象应是社会关系，而非具体的社会个体。因为作为个体的人是千差万别、变化多端的，而唯有其关系是相对稳定的。例如，运用社会网络分析，可以研究人们社会交往的形式、特征，也可以分析不同群体或组织之间的关系结构。这有助于认识不同群体的关系属性及其对人们行为的影响。

## 2.1.2　社会网络指标

**1. 度、平均度、度分布**

1) 度

社会网络中节点 $i$ 的度(Degree)是指与该点连接的边的总数目，用 $k_i$ 表示。

为清晰阐述各个测试指标，建立图 2-4 所示的具体的社会网络关系，且图 2-4(a)所示为无向图，图 2-4(b)所示为有向图。其中，点数为 6，边数为 5。无向图中每条边由一对

点 $i$ 和 $j$ 来定义，表示为$(i,j)$或 $l_{ij}$；有向图中，两个点的顺序很重要，$l_{ij}$ 表示一条由点 $i$ 指向点 $j$ 的边，且 $l_{ij} \neq l_{ji}$。

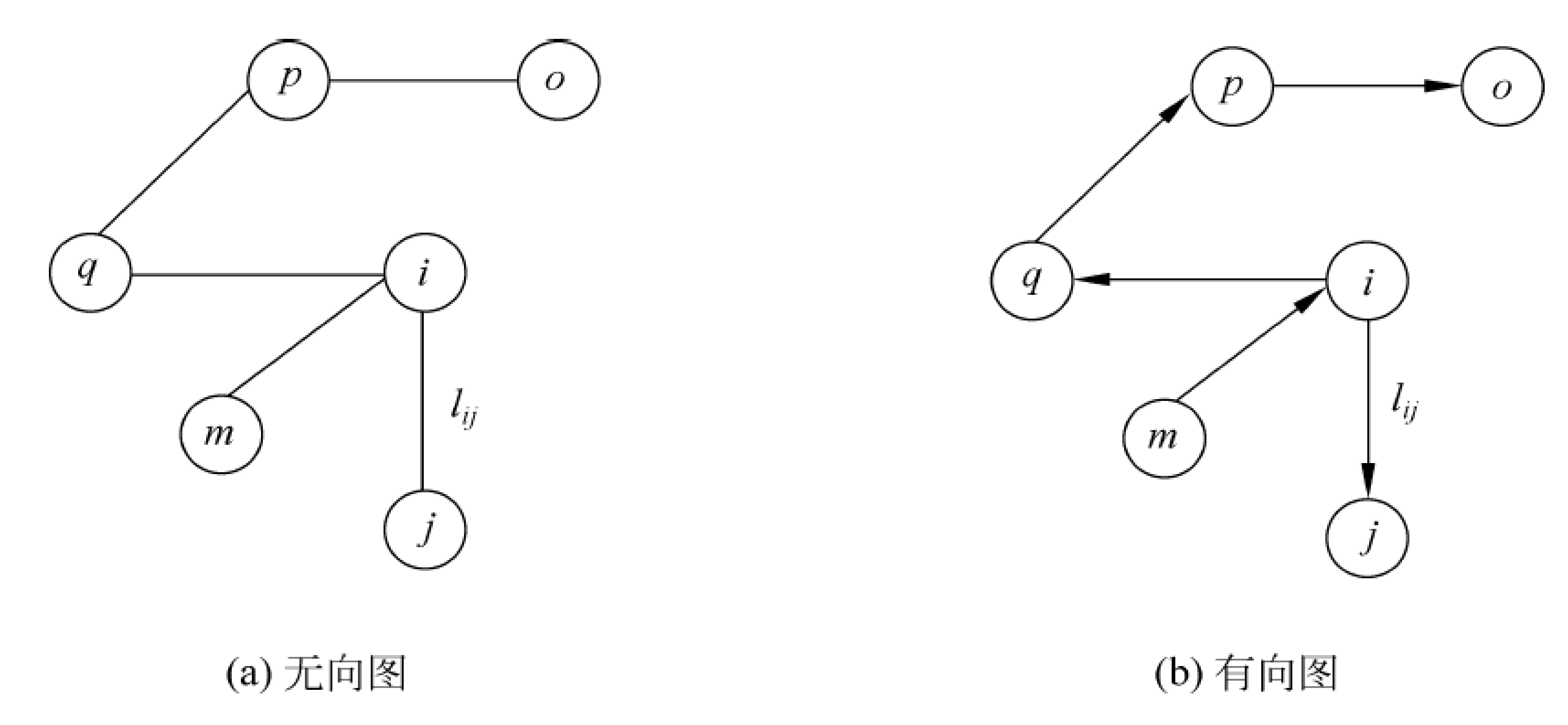



图 2-4　无向图和有向图

在图 2-4(a)中，节点 $i$ 的度 $k_i=3$。有向图中，节点 $i$ 的度包含两部分，从节点 $i$ 出发的连接边数，记为出度$k_i^{out}$；指向节点 $i$ 的连接边数，记为入度$k_i^{in}$。在图 2-4(b)中，节点 $i$ 的出度$k_i^{out}=2$，节点 $i$ 的入度$k_i^{in}=1$。

2）平均度

所有节点度 $k_i$的平均值即为网络的平均度(Average Degree)，定义为$\langle k \rangle$。

3）度分布

网络中节点的度分布(Degree Distribution)由概率分布函数 $p(k)$来刻画，其含义为一个任意选择的节点恰好有 $k$ 条边的概率，即网络中度数为 $k$ 的节点的个数占网络节点总个数的比值。规则网络仅有一个单一的度序列，它的度分布呈脉冲型，因为所有节点都拥有相同的边数；完全随机网络的度序列则服从泊松(Poisson)分布，而泊松分布在峰值$\langle k \rangle$以外以指数速度下降，因而要去发现一个具有 $k \gg \langle k \rangle$条边的节点概率已小到可以忽略的程度。

**2. 距离、平均路径长度、介数**

1）距离

社会网络中节点 $i$ 和 $j$ 之间有边连接，则认为节点 $i$ 和 $j$ 之间有路径(Path)存在。在图 2-4(a)和图 2-4(b)中，节点 $i$ 和 $o$ 之间并没有边直接连接，但可以通过节点 $q$ 和 $p$ 连接到，因此可以说，节点 $i$ 和 $o$ 之间有路径存在，若边的权重均为 1，则节点 $i$ 和 $o$ 距离(Distance)为 3。若是有权网络，即节点对之间的连边是有权重的，则节点对之间的距离根据模型定义，由相应的具体算法得出。

一个网络的直径 $D$ 是指网络中所有节点对间的距离中的最大值，在图 2-4(a)和图 2-4(b)中，网络的直径均为 4。

2）平均路径长度

网络的平均路径长度(Average Path Length)是所有节点对之间距离的平均值，它描

述了网络中节点间的分离程度，即网络有多小。复杂网络研究中的一个重要发现就是绝大多数真实的平均路径长度比想象的小得多，称之为“小世界效应”。

3）介数

在图 2-4(a)和图 2-4(b)中，节点 $m$ 和 $o$ 之间的联系，依赖于连接 $m$ 和 $o$ 路径上的其他节点 $i$、$q$ 和 $p$，所以度量一个给定点的关联性可以通过计算经过该节点的最短路径的数量，即点的介数(Betweeness)。节点 $i$ 的介数 $b_i$ 定义为

$$b_i = \sum_{m,o \in V, m \neq o} \frac{n_{mo}(i)}{n_{mo}} \tag{2-1}$$

式中　$n_{mo}$——连接节点 $m$ 和 $o$ 的最短路径的数量；

$n_{mo}(i)$——连接节点 $m$ 和 $o$ 且经过节点 $i$ 最短路径的数量。

**3. 聚类系数**

聚类系数 $C$(Cluster Coefficient)用来描述网络中节点的群聚情况，即网络有多紧密，整个网络的聚类系数 $C$ 为所有节点的聚类系数 $C_i$ 的平均值。

设网络中节点 $i$ 通过 $k_i$ 条边与其他 $k_i$ 个节点相连接，如果这 $k_i$ 个点完全连接的话，将有 $\frac{k_i(k_i-1)}{2}$ 条边，而节点 $i$ 与这 $k_i$ 个节点间的连接边数仅为 $E_i$，则定义节点 $i$ 的聚集系数 $C_i$ 为

$$C_i = \frac{E_i}{\frac{k_i(k_i-1)}{2}} \tag{2-2}$$

显然，式(2-2)中，$C \leqslant 1$。只有当网络是完全图时，$C=1$；在由 $N$ 个节点组成的完全随机网络中，$C \sim 1/N$。

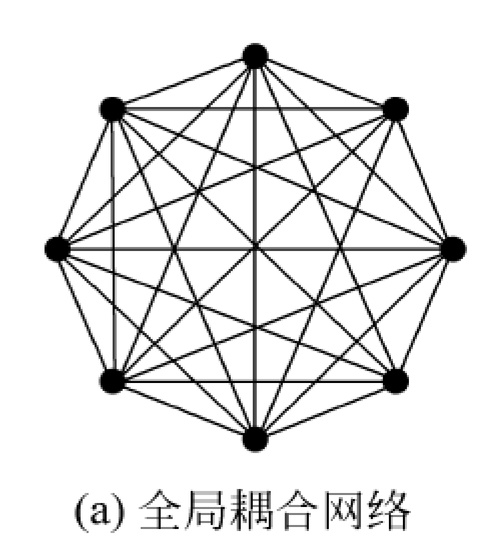
实证结果表明，大部分大规模的真实网络中的节点倾向于聚集在一起，尽管聚类系数 $C$ 远小于 1，但也远大于 $1/N$(Albert 和 Barabási，2002)。

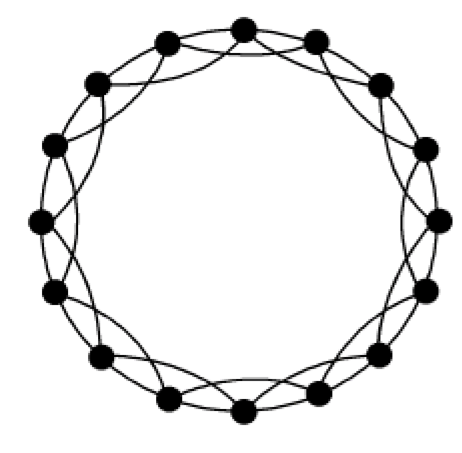
## 2.1.3　社会网络模型

**1. 规则网络**

最简单的网络模型是规则网络(Regular Network)，它是指系统各元素之间的关系可以用一些规则的结构表示，也就是说，网络中任意两个节点之间的联系遵循既定的规则，通常每个节点的近邻数目都相同。规则网络的研究，已经建立了比较完善的理论框架。常见的具有规则拓扑结构的网络包括全局耦合网络(Globally Coupled Network)、最近邻耦合网络(Nearest-Neighbor Coupled Network)和星形耦合网络(Star Coupled Network)，如图 2-5 所示。

规则网络的普遍特征是具有平移对称性，每个节点的度和聚类系数相同。由于大多数规则网络表现出较大的平均路径长度和聚类系数，因此无法反映现实中结构的异质性


(a) 全局耦合网络


(b) 最近邻耦合网络

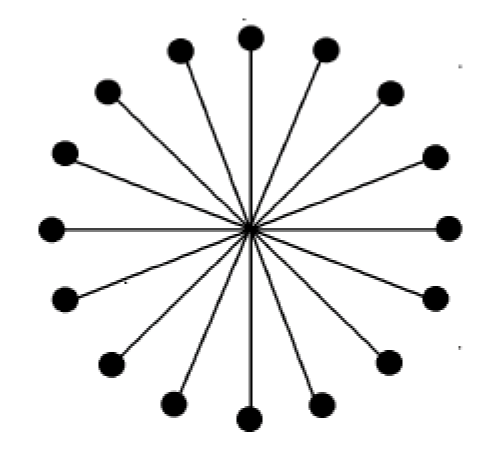

(c) 星形耦合网络

图 2-5　几种规则网络

及动态增长性。

1）全局耦合网络

在一个全局耦合网络中，任意两个节点之间都有边直接相连，如图 2-5(a)所示。因此，在具有相同节点数的所有网络中，全局耦合网络具有最小的平均路径长度 $L_{gcn}=1$，节点 $i$ 的聚类系数均为 $C_i=1$，故整个网络的聚类系数 $C_{gen}=1$。

虽然全局耦合网络模型反映了许多实际网络具有的聚类和小世界特性，但该模型作为实际网络模型的局限也是很明显的：一个有 $N$ 个节点的全局耦合网络有 $N(N-1)/2$ 条边，然而大多数大型实际网络都是很稀疏的，它们边的数目一般至多是 $O(N)$ 而不是 $O(N^2)$。

2）最近邻耦合网络

得到大量研究的稀疏规则网络模型是最近邻耦合网络，其中每一个节点只和它周围的邻居节点相连，如图 2-5(b)所示。具有周期边界条件的最近邻耦合网络包含 $N$ 个围成一个环的节点，其中每个节点都与它左右各 $X/2$ 个邻居节点相连，这里 $X$ 是一个偶数。对较大的 $X$ 值，最近邻耦合网络中节点 $i$ 的聚类系数 $C_i$ 见式(2.3)，即

$$C_i=\frac{3(X-2)}{4(X-1)}\approx\frac{3}{4} \tag{2-3}$$

记最近邻耦合网络为 $G=(V,E)$，其中 $V$ 为节点集，$E$ 为边集。考虑节点 $i$，它的邻居节点总共有 $X$，它的左邻居节点按离 $i$ 从远到近分别记为 $u_j(j=1,2,\cdots,X/2)$，它的右邻居节点按离 $i$ 从远到近分别记为 $\tilde{u}_j(j=1,2,\cdots,X/2)$。由节点集 $\widetilde{V}=\{u_1,u_2,\cdots,u_{k/2},\tilde{u}_1,\tilde{u}_2,\cdots,\tilde{u}_{k/2}\}$，以及 $\widetilde{V}$ 中节点间的边集 $\widetilde{E}$ 构成的子图 $\widetilde{G}=(\widetilde{V},\widetilde{E})$ 中，各节点的度见式(2-4)，即

$$\begin{cases}k_{u_1}=k_{\tilde{u}_1}=\dfrac{X}{2}-1\\ k_{u_2}=k_{\tilde{u}_2}=\dfrac{X}{2}\\ \quad\vdots\\ k_{u_{k/2}}=k_{\tilde{u}_{k/2}}=X-2\end{cases} \tag{2-4}$$

由于在一个图中，所有节点度的和等于边数的 2 倍，则子图 $\widetilde{G}$ 中所有边的条数为

$$\widetilde{M}=\frac{1}{2}\sum_{j=1}^{\frac{X}{2}}(k_{u_j}+k_{\widetilde{u}_j})=\sum_{j=1}^{\frac{X}{2}}k_{u_j}$$
$$=\frac{X}{2}-1+\frac{X}{2}+\cdots+X-2=\frac{3(X-2)X}{8} \tag{2-5}$$

式(2-5)即节点 $i$ 的邻居节点间实际存在的边数。式(2-6)为节点 $i$ 的聚类系数,即

$$C_i=\frac{\widetilde{M}}{C_X^2}=\frac{3(X-2)}{4(X-1)} \tag{2-6}$$

因此,最近邻耦合网络的聚类系数见式(2-7),即

$$C_{\text{ncn}}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{3(X-2)}{4(X-1)}=\frac{3(X-2)}{4(X-1)}\approx\frac{3}{4} \tag{2-7}$$

显然,最近邻耦合网络是高度聚类的。但是,最近邻耦合网络并不是一个小世界网络,相反,对固定的 $X$ 值,该网络的平均路径长度见式(2-8),即

$$L_{\text{ncn}}\approx\frac{N}{2X}\rightarrow\infty(N\rightarrow\infty) \tag{2-8}$$

3）星形耦合网络

星形耦合网络有一个中心点,其余的 $N-1$ 个点都只与这个中心点连接,如图 2-5(c)所示。

星形耦合网络的平均路径长度见式(2-9),即

$$L_{\text{scn}}=2-\frac{2}{N}\rightarrow 2(N\rightarrow\infty) \tag{2-9}$$

整个网络的平均聚类系数 $C_{\text{scn}}=0$。这里假设一个节点只有一个邻居节点,那么该节点聚类系数定义为 0。星形耦合网络是比较特殊的一类网络。

有些研究文献中则定义只有一个邻居节点的节点聚类系数为 1,若依此定义,则整个星形耦合网络的平均聚类系数见式(2-10),即

$$C_{\text{scn}}=\frac{N-1}{N} \tag{2-10}$$

### 2. 随机网络

从某种意义上讲,规则网络(Regular Network)和随机网络(Random Network)是两个极端,而复杂网络(Complex Network)处于两者之间。粗略地说,网络是节点与连接的集合。如果节点按确定的规则连线,所得到的网络就称为规则网络。如果节点按随机方式连线,所得到的网络就称为随机网络。

20 世纪 50 年代末,为了描述通信和生命科学中的网络,匈牙利数学家 Erdös 和 Rényi 首次将随机性引入到网络中,提出了著名的“ER 随机网络模型”。ER 模型以简单和随机连接的思想在很长时间内被许多人所接纳,从 20 世纪 60 年代开始到 1998 年之前将近 40 年的时间里,ER 随机网络模型一直是复杂网络研究的基本模型。然而真实的社

会网络并非是完全随机的，随机网络的缺陷也是显而易见的。

1）随机网络模型

随机网络是由一些节点通过随机连接而组成的一种复杂网络。随机网络构成有以下两种等价方法。

（1）ER 模型。

给定 $N$ 个节点，最多可以存在 $N(N-1)/2$ 条边，从这些边中随机选择 $M$ 条边，就可以得到一个随机网络。显然，一共可产生 $C_{N(N-1)/2}^{M}$ 种可能的随机网络，且每种可能的概率都相同。

（2）二项式模型。

给定 $N$ 个节点，每一对节点以概率 $p$ 进行连接，这样所有连线的数目是一个随机变量，其平均值为 $M=pN(N-1)/2$。若 $G_{NM}$ 是一个由 $N$ 个节点和 $M$ 条边组成的图，则得到该图的概率为

$$p(G_{NM}) = p^{M}(1-p)^{\frac{N(N-1)}{2}-M} \tag{2-11}$$

式中　$p^{M}$——$M$ 条边同时存在的概率；

$(1-p)^{\frac{N(N-1)}{2}-M}$——其他边都不存在的概率。

二者是独立事件，相乘即得图 $G_{NM}$ 存在的概率。

2）随机网络的特性

（1）泊松度分布。Erdös 和 Rényi 是最早探讨随机图中最大度和最小度分布的人，随后全部的度分布由 Bollboas 推导得到。随机网络中节点的度分布是遵循泊松(Poisson)分布的，如图 2-6 所示，即连接数目比平均数高很多或低很多的节点都是十分罕见的。

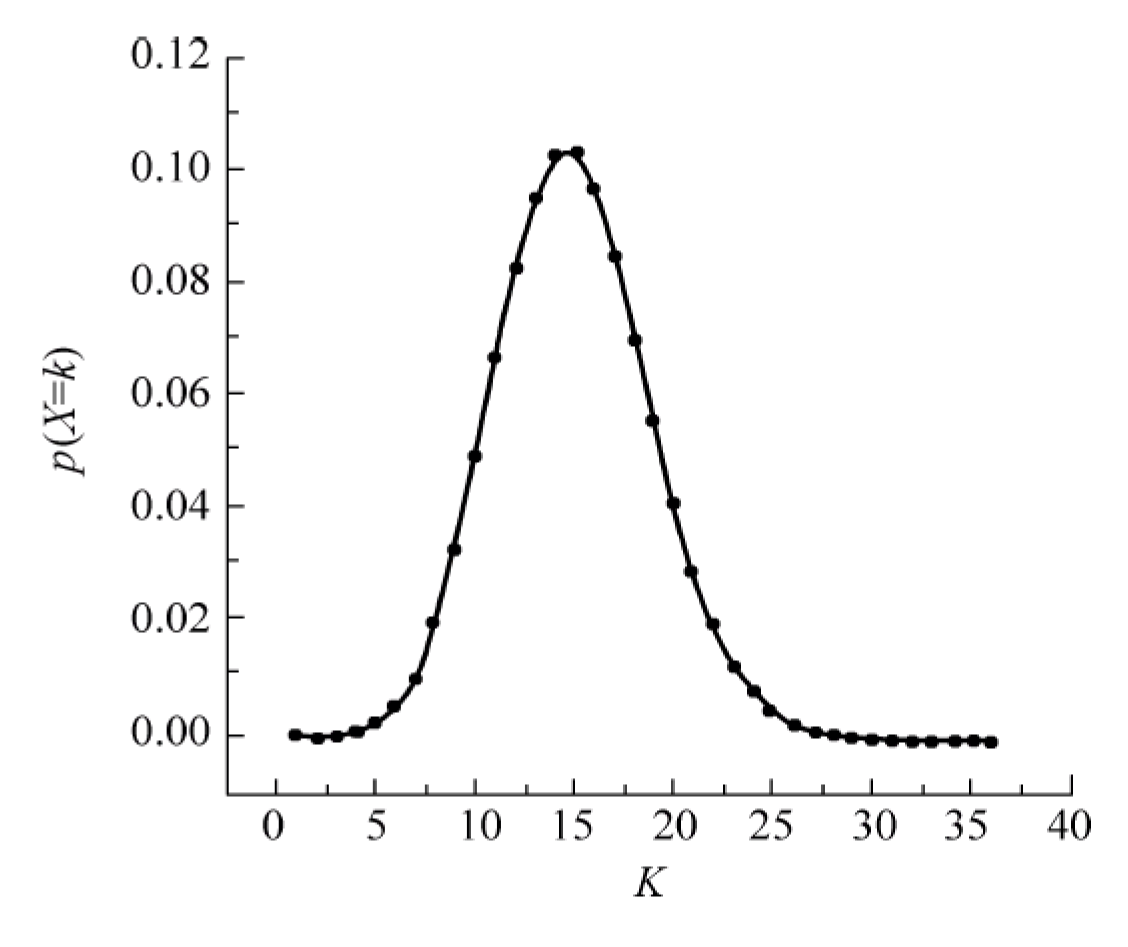



图 2-6　随机网络度分布

在连接概率为 $p$ 的 ER 随机网络中，其平均度为

$$\langle k \rangle = p(N-1) \approx pN \tag{2-12}$$

式(2-13)中,$N$ 为网络中节点的总数,节点 $i$ 的度等于 $k$ 的概率遵循参数为 $N-1$ 和 $p$ 的二项分布,即

$$P(k_i = k) = C_{N-1}^{k} p^k (1-p)^{N-1-k} \tag{2-13}$$

对于充分大的 $N$,由于每条边的出现与否都是独立的,ER 随机网络的度分布可用泊松分布来表示,即

$$P(k) = C_{N-1}^{k} p^k (1-p)^{N-1-k} \approx \frac{\langle k\rangle^k \mathrm{e}^{-\langle k\rangle}}{k!} \tag{2-14}$$

因此,ER 随机网络也称为泊松随机网络。

(2) 直径和平均距离短。网络的直径可以定义为其各连通子图直径的最大值。在 $p$ 不是非常小的条件下,随机网络趋于有限直径。对于大多数的 $p$ 值,几乎所有的网络都有同样的直径。式(2-15)中,连接概率为 $p$ 的 $N$ 阶随机网络(随机网络的节点总数为 $N$)的直径的变化幅度非常小,即

$$D = \frac{\ln N}{\ln\langle k\rangle} \approx \frac{\ln N}{\ln(pN)} \tag{2-15}$$

设 $L_{ER}$ 是 ER 随机网络的平均路径长度。直观上,对于 ER 随机网络中随机选取的一个点,网络中大约有 $\langle k\rangle^{L_{ER}}$ 个其他的点与该点之间的距离等于或非常接近于 $L_{ER}$。因此,$N \propto \langle k\rangle^{L_{ER}}$,即 $L_{ER} \propto \frac{\ln N}{\ln\langle k\rangle}$。这种平均路径长度为网络规模的对数增长函数的特性就是典型的小世界特征。因为 $\frac{\ln N}{\ln\langle k\rangle}$ 的值随 $L_{ER}$ 增长得很慢,这就使得即使规模很大的随机网络也可以具有很小的平均路径长度。

(3) 聚类系数小。ER 随机网络中两个节点之间不论是否具有共同的邻居节点,其连接概率均为 $p$。因此,ER 随机网络的平均聚类系数为

$$C_{ER} = \frac{\langle k\rangle}{(N-1)} \approx \frac{\langle k\rangle}{N} = p \ll 1 \tag{2-16}$$

这意味着大规模的稀疏 ER 随机网络没有聚类特性。而现实中的复杂网络一般都具有明显的聚类特性,其聚类系数要比相同规模的 ER 随机网络的聚类系数高得多。

**3. 小世界网络**

1967 年,美国社会心理学家米尔格拉姆(Stanley Milgram)通过“小世界试验”,提出了“六度分离推断”,即地球上任意两个人之间的平均距离为 6,也就是说,只要中间平均通过 5 个人,你就能联系到地球上的其他任何人。之后,电影演员的“Bacon 数”(Bacon Number)游戏、数学家的“Erdös 数”(Erdös Number)项目,都进一步证实了一些真实网络具有小世界效应。

1998 年,瓦斯(Duncan J. Watts)和斯托加茨(Steven H. Strongatz)提出了“小世界”网络模型,一般称为“WS 小世界模型”,实现了从完全规则网络到完全随机网络的过渡,该模型既具有规则网络的高聚类性,又具有类似随机网络的小的平均路径长度(Watts 和

Strongatz,1998)。

1）小世界网络的构造算法

(1) 构造一个规则图。将一个含有 $N$ 个节点的 $K$($K$ 为偶数)近邻耦合网络围成一个环,其中每个节点都与其左右相邻的各$\frac{K}{2}$个节点相连。

(2) 随机化重新连接。以概率 $p(0\leqslant p\leqslant 1)$随机重新连接网络中的每条边,并规定任意两个节点之间最多只能有一条边,且每个节点不能有边与自身相连。

在该模型中,$p=0$ 对应于完全规则网络,$p=1$ 对应于完全随机网络,通过调节 $p$ 值,可以控制从完全规则网络到完全随机网络的过渡,如图 2-7 所示。

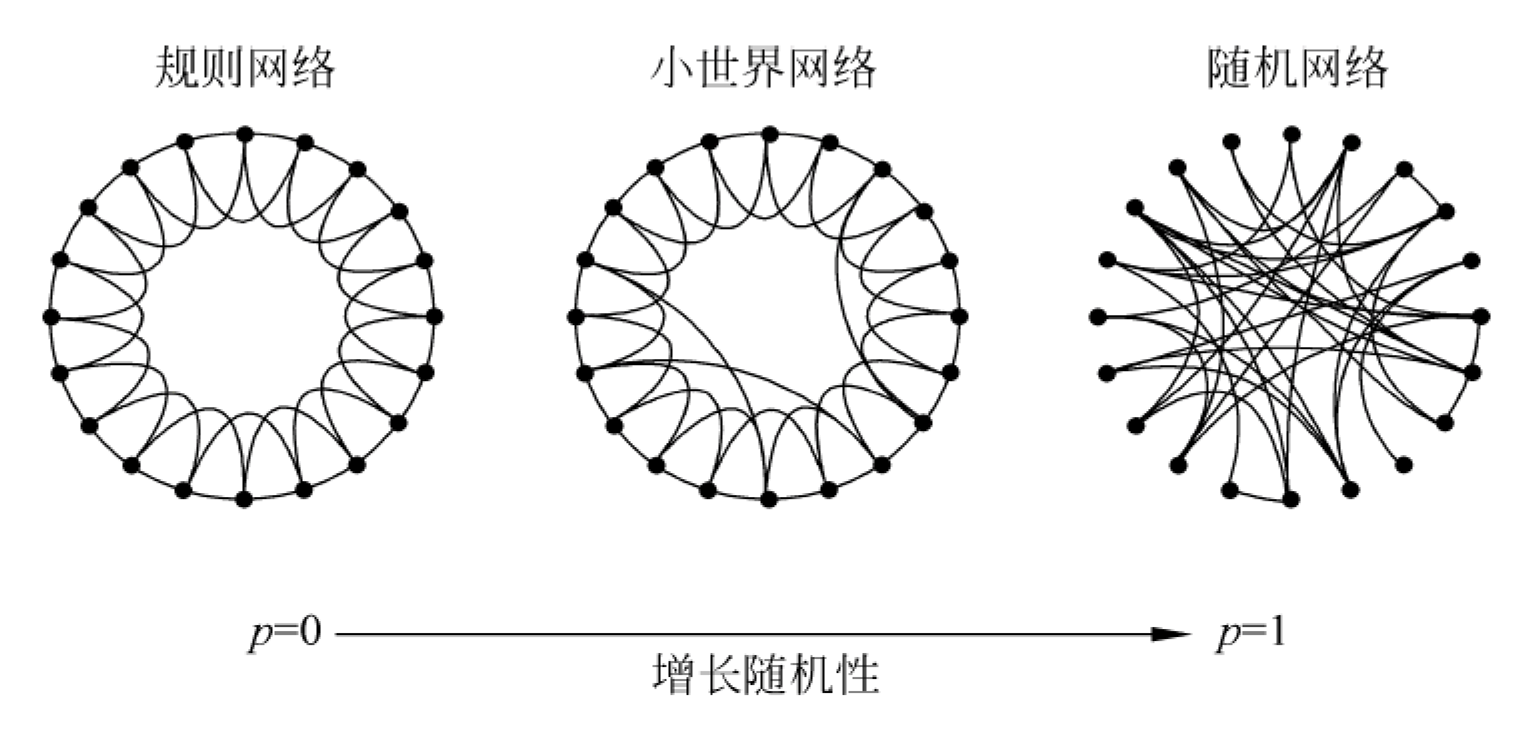



图 2-7　网络模型

(Watts 和 Strongatz,1998)

2）小世界网络的特性

(1) 度分布。

当 $p=0$ 时,度分布是以 $K$ 为中心的 $\delta$ 函数;当 $p=1$ 时,类似于 ER 随机网络的泊松分布。

对于小世界网络,即 $0<p<1$,度分布函数为(Barrat 和 Weigt,2000)

$$p(k)=\begin{cases}0 & \text{当 } k<\frac{K}{2}\\ \sum_{i=0}^{\min\left(k-\frac{K}{2},\frac{K}{2}\right)} C_{K/2}^{i}\, p^{\frac{K}{2}-i}\, \dfrac{\left(\frac{pK}{2}\right)^{k-\frac{K}{2}-i}}{\left(k-\frac{K}{2}-i\right)!}\, e^{-pK/2} & \text{当 } k\geqslant\frac{K}{2}\end{cases}\tag{2-17}$$

在式(2-17)中,小世界网络的度分布形态类似于随机网络,在 $k=K$ 处,有明显的峰值,然后呈指数衰减。该网络的拓扑结构相对单一,所有节点差不多就有相同的度。

(2) 平均路径长度。

当 $p=0$ 时,平均路径长度 $l(0)=\frac{N}{2K}\gg 1$;当 $p=1$ 时,$l(1)=\frac{\ln N}{\ln K}$。

小世界网络模型的平均路径长度 $l(p)$ 还没有精确的解析表达式，但其平均路径长度随 $p$ 的增加而下降明显。

（3）聚类系数。

当 $p=0$ 时，聚类系数 $C(0)=\frac{3\left(\frac{K}{2}-1\right)}{2(K-1)}$；当 $p=1$ 时，聚类系数近似于 ER 随机网络的聚类系数。

由于边以 $1-p$ 的概率不重连，在 $p=0$ 时已连接的两个点将以 $(1-p)^3$ 的概率保持连接，因此得到小世界网络的聚类系数为（Baraat 和 Weigt，2000）

$$C(p) \sim \widetilde{C}(p) = \frac{3\left(\frac{K}{2}-1\right)}{2(K-1)}(1-p)^3 \tag{2-18}$$

式(2-18)中，$\widetilde{C}(p)$ 被重新定义为邻居点之间的平均边数与所有可能的平均边数之比。

总之，小世界网络具有以下 3 个特征：①具有规则网络的高聚集性；②具有随机网络的小的平均路径长度；③所有节点差不多具有相同的度。因此，度分布服从均匀分布或者指数分布。

3）小世界网络的改进模型

WS 模型可能导致网络中某些节点成为孤立点，不去掉规则网络上原有的边，而直接进行随机化添加边的改进模型，可克服 WS 模型的上述不足。

1999 年，纽曼（Mark E. J. Newman）和瓦茨（Duncan J. Watts）提出了“NW 小世界模型”，他用“随机化加边”，如图 2-8 所示，代替了 WS 小世界模型构造中的“随机化重连”，如图 2-9 所示，即在构造算法的第二步是以概率 $p$ 在随机选取的一对节点之间加一条边。其中，任意两个不同的节点之间至多只能有一条边，每个节点都不能有边与自身相连。在 NW 小世界模型中，$p=0$ 对应于原来的完全规则网络，$p=1$ 对应于完全随机网络。当 $p$ 足够小和 NW 足够大时，NW 小世界模型本质上等同于 WS 小世界模型。

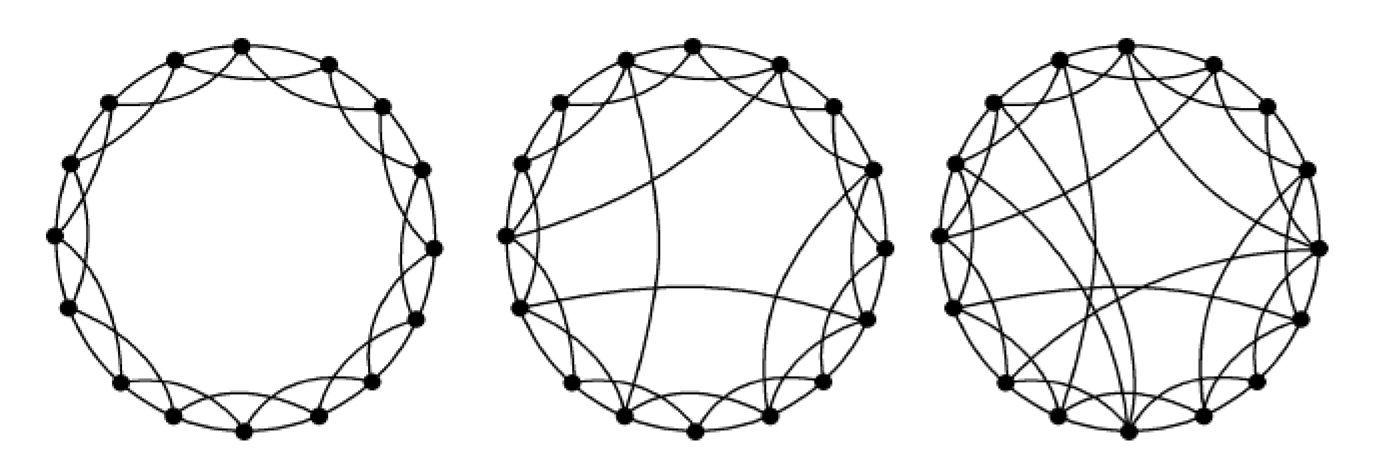


图 2-8　NW 小世界模型（随机化加边）

## 4. 无标度网络

不同于小世界网络的度分布服从均匀分布或者指数分布，实证结果表明对于大多数大规模真实网络，用幂律（Power-law）分布来描述它们的度分布更加精确，即 $p(k)=k^{-r}$。幂律分布相对于指数分布，其图形没有峰值，大多数节点仅有少量连接，而少数节点拥有

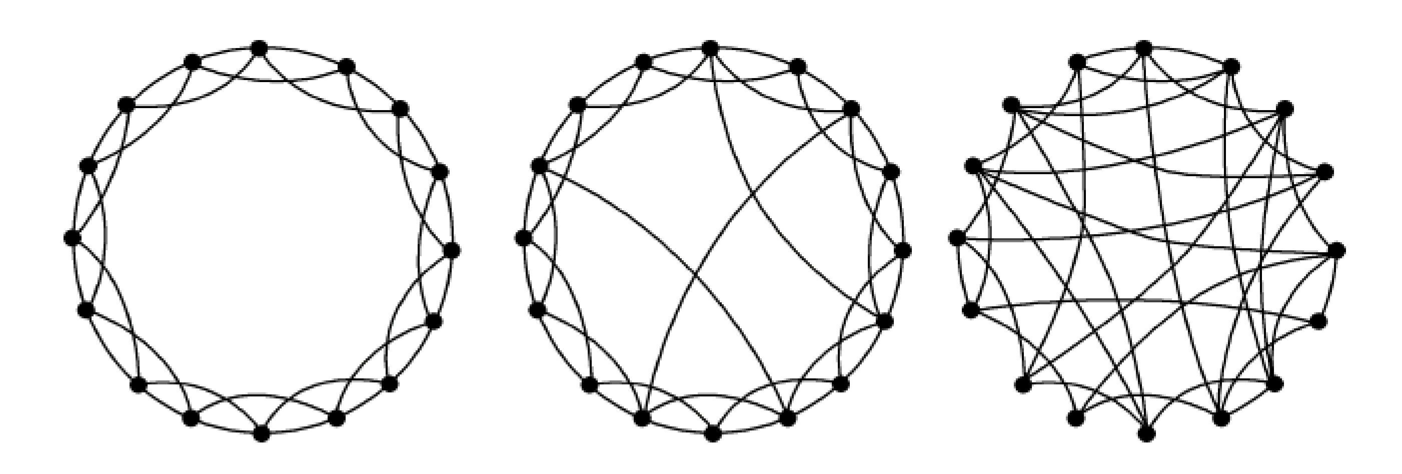
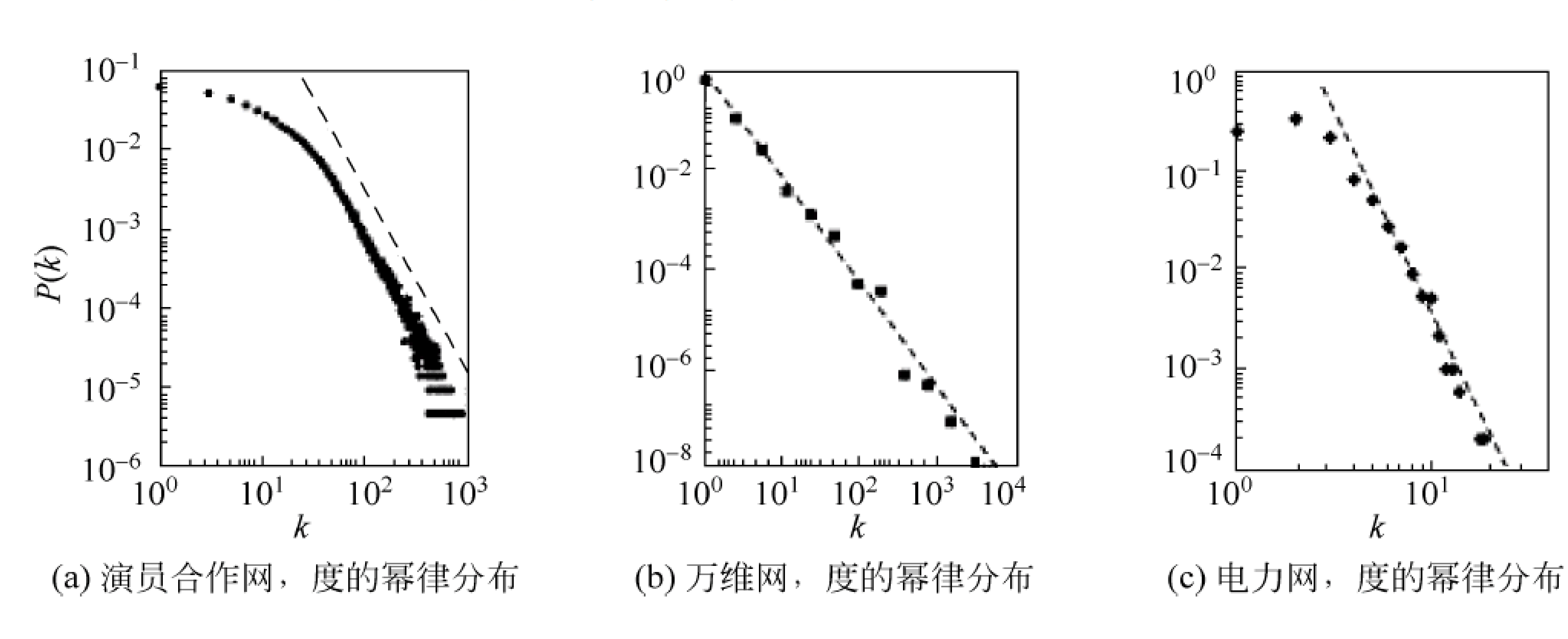


图 2-9　WS 小世界模型(随机化重连)

大量连接,不存在随机网络中的特征标度。

1999 年,巴拉巴西(Albert-Lázló Barabási)和艾伯特(Réka Albert)利用机器人技术,对互联网上的网页之间的链接情况进行统计,发现其分布规律不同于随机网络所预计的那种正态分布,而是呈现幂律分布,且这种现象与网络规模无关。他们给这种网络起名为 Scale free network,即无标度网络(Barabási 和 Albert,1999),如图 2-10 所示。

演员合作网,度的幂律分布为 2.3,如图 2-10(a)所示;万维网,度的幂律分布为 2.1,如图 2-10(b)所示;电力网,度的幂律分布为 4,如图 2-10(c)所示。




(a) 演员合作网,度的幂律分布　(b) 万维网,度的幂律分布　(c) 电力网,度的幂律分布

图 2-10　不同大型网络度的幂律分布

(Barabási 和 Albert,1999)

巴拉巴西等的贡献在于在此基础上提出了新的网络拓扑结构模型,一般称为 Barabási-Albert 模型,简称"BA 无标度网络模型"。BA 模型建立在两个基本假设之上,即增长性和偏好依附。WS 模型考虑了边的变动,节点的数量还是固定的;而 BA 模型则进一步假定网络的节点数目是不断增长的,这显然更符合互联网和其他具有社会属性的网络的实际情况。更重要的是第二个假定:在新增加进来的节点与已有节点建立连接的时候,具有一定的"偏好"倾向。例如,在互联网中新建立的网站,显然倾向于与已经有相当知名度的网站相链接;又如,在演员合作关系的网络中,新演员当然更愿意与明星合作拍电影。巴拉巴西等证明了在这两个基本假定的基础上,网络必然发展成为无标度网络。

当 $m=m_0=2$ 时，BA 无标度网络的演化过程如图 2-11 所示。初始网络有 $m_0=2$ 个节点，一条边，每次新增加的一个节点按优先连接机制与网络中已存在的 $m=2$ 个节点相连，每次新增两条边。在经过 $t$ 步之后，这种算法产生一个有 $N=t+m_0$ 个节点，新增 $mt$ 条边的无标度网络。

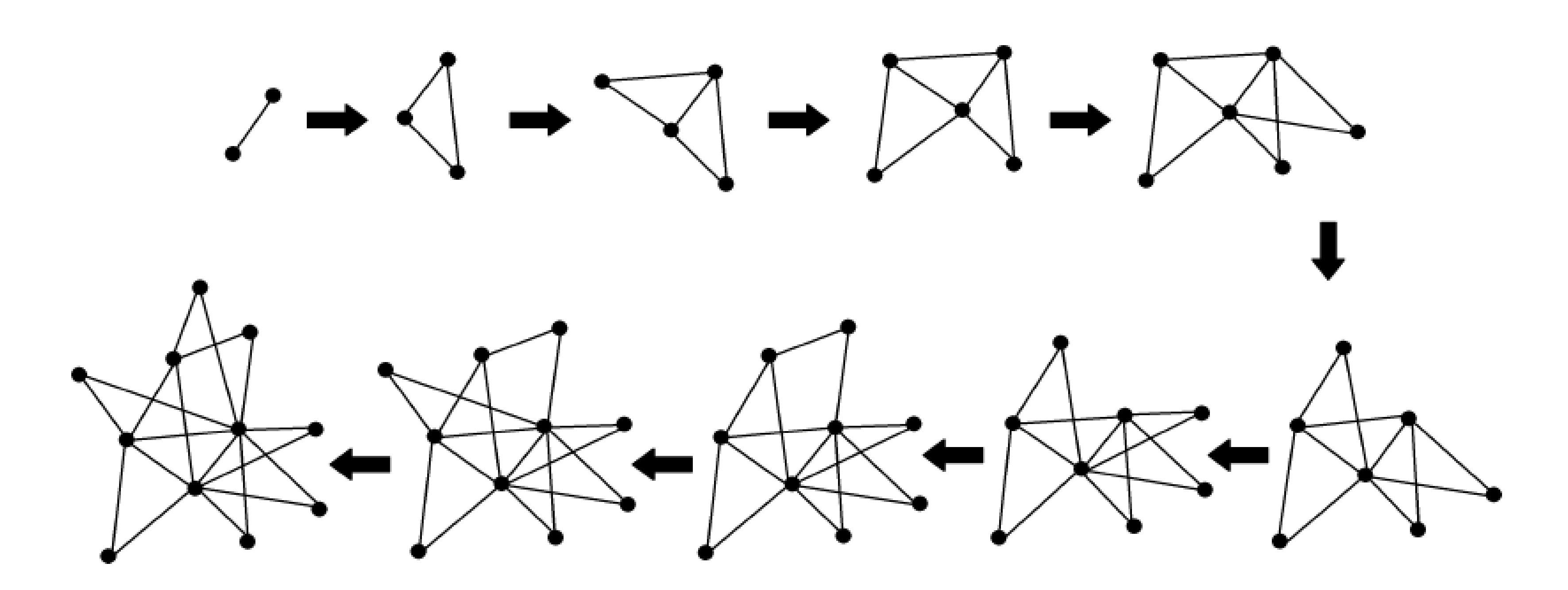


图 2-11　BA 无标度网络的演化($m=m_0=2$)

1）无标度网络的构造算法

(1）增长性(Growth)。

从一个具有 $m_0$($m_0\geqslant 2$ 且 $k_i\geqslant 1$)个节点的网络开始，每次引入一个新的节点，并且与网络中已经存在的 $m$ 个节点相连($m\leqslant m_0$，且均为常量)。

(2）偏好依附(Preferential Attachment)。

它指新节点和网络中已经存在的节点之间的选择连接策略，规定一个新节点与一个已经存在的节点 $i$ 相连的概率 $p_i$ 与节点 $i$ 的度 $k_i$ 成正比，即

$$p_i=\frac{k_i}{\sum_j k_j} \tag{2-19}$$

偏好依附使那些本身具有较高链接的节点(明星，Hub)聚类更多的连接，新节点更加愿意选择连接这些 Hub，这又称为“富者越富”(Rich Get Richer)法则。

2）无标度网络的特性

(1）度分布。巴拉巴西等利用统计物理学中的平均场(Mean-Field Theory)方法给出了模型的解(Barabási 等，1999)，结果表明，BA 网络的度分布为

$$p(k)=\frac{2n(n+1)}{k(k+1)(k+2)}\infty 2n^2k^{-3} \tag{2-20}$$

即经过充分长时间的演化，BA 网络服从指数为 3 的幂律分布。

(2）平均路径长度。BA 网络的平均路径长度增加近似于网络大小的对数，实际表达用双对数加以修正，如式(2-21)，即

$$l=\frac{\ln N}{\ln\ln N} \tag{2-21}$$

BA 网络的平均路径长度有规则地小于随机网络的平均路径长度。

（3）度相关性。因为 BA 网络的演化形式，自发产生了连接节点的度相关性。度为 $k$ 和 $m$ 节点间的连接的相关性概率 $n_{km}$，即

$$n_{km}=\frac{4(m-1)}{k(k+1)(k+m)(k+m+1)(k+m+2)}+\frac{12(m-1)}{k(k+m-1)(k+m)(k+m+1)(k+m+2)} \tag{2-22}$$

（4）聚类系数。到目前为止，BA 网络的聚类系数还没有精确的解析结果。实证分析表明，BA 网络的聚类系数明显高于随机网络，成比例于网络大小 $C\sim N^{-0.75}$，且近似于幂律分布。这一点不同于 WS 网络，小世界网络的聚类系数独立于网络大小。

对于层级网络（Hierarchical Networks），聚类系数作为节点度的函数 $C(k)=k^{-1}$，同样也服从幂律分布。

总之，无标度网络具有以下特性。

① 具有小世界网络的高聚集性和小的平均路径长度，不同于小世界网络聚类系数独立于网络大小，而是成比例于网络大小。

② 增长性和偏好依附是无标度网络的基本特性。

③ 度分布服从幂律分布，且 BA 网络服从指数为 3 的幂律分布，大部分真实网络幂律分布的指数为 2～4。

## 2.2 动态网络分析的基本理论

动态网络分析（Dynamic Network Analysis，DNA）是卡耐基·梅隆大学（Carnegie Mellon University，CMU）计算机科学学院的教授 Kathleen M. Carley 在 2002 年提出的。动态网络分析不同于传统的社会网络分析之处在于：它能处理大规模、动态、多模、多边的具有多层、不确定性的网络，即元网络（Meta-network）。在元网络连接中，人与人（Who to Whom）构成社会网络，事与事（What to What）构成信息网络（Information Networks），人与事（Who to what）构成知识网络（Knowledge Networks）。

元矩阵（Meta-matrix）描述方法是动态网络分析中一种常用的元网络描述方法。动态网络分析中连接关系是具有一定概率的，节点的测量会改变网络的属性，网络的局部变化将影响到整个网络，节点具有学习功能，即动态网络分析整合了元矩阵、多主体建模和机器学习方法。

### 2.2.1 动态网络分析的创新

动态网络分析有以下 3 个方面的创新。

#### 1. 使用元矩阵表示网络

Carley 结合知识管理、运筹学和社会网络技术创建了元矩阵表示方法（Carley，

2002b)。元矩阵方法起源于 PCANS 方法(Krackhardt 和 Carley,1998),网络的节点在用元矩阵进行构造后,不只是拥有人这一种元素,还包括资源、任务等组织中的多种元素。表 2-1 定义了 10 个内部连接的网络,对一个网络的改变会影响到其他网络的改变;一个网络中的关系同时蕴含其他网络中的关系。

**表 2-1　元矩阵**

| 项　　目 | 人 | 知识/资源 | 事件/任务 | 组　　织 |
|---|---|---|---|---|
| 人 | 社会网络 | 知识网络 | 参与网络 | 成员网络 |
| 知识/资源 | | 信息网络 | 需求网络 | 组织能力网络 |
| 事件/任务 | | | 时序网络 | 组织支持网络 |
| 组织 | | | | 组织间网络 |

(Carley,2003)

从传统社会网络分析方法到动态网络分析方法的困难就是寻找合适的测量准则。迄今为止,Carley 已通过使用元矩阵来研究测量指标。例如,认知负载指标,该测量表明个体要维持现有的地位需要付出的努力,它可以作为判断潜在关键人物的一个指标(Carley 和 Ren,2001)。认知负载是一个复杂的测量,它综合考量了和个体交互的人物数量和个体需要管理的资源等。

**2. 引入概率边(Probabilistic Ties)**

元矩阵中边的连接是具有一定概率的。多种事实产生的影响也是具有概率的,包括观察者对边的确定性和连接存在的可能性。动态网络分析多使用贝叶斯更新策略,认知推理方法和社会认知改变过程模型(Carley 和 Ren,2001; Carley,2002b)用于评估概率和它随时间的改变。

**3. 建立多主体网络模型(Multi-agent Network Models)**

传统社会网络分析方法的主要问题是个体不具有主动适应能力,即不能采取行动,学习和改变他们的网络。Carley 使用多主体技术,个体根据某种机制进行学习、参与事件、执行任务,从而建模组织和社会的改变。促进网络动态演化,驱动个体交互发生的机制有两个:一个是相似性,即相似的文化、性别、年龄等;另一个是相关的专业知识,即希望寻找新信息的激励。

## 2.2.2　动态网络基本演化过程

从社会网络的静态分析到动态分析,网络的演化只需关注添加、删除节点的动作过程。从元网络分析的视角,网络中的节点变化能在某些基本过程的驱动下进行,如表 2-2 所示。

表 2-2　元矩阵中节点变化的基本驱动过程

| 人 | 知识/资源 | 事件/任务 | 组　织 |
|---|---|---|---|
| 出生 | 创新 | 改变目标 | 成立 |
| 死亡 | 发现 | 再设计 | 破产 |
| 升职 | 遗忘 | 研发新技术 | 兼并 |
| 移动 | 消耗 | 停止使用技术 | 收购 |
| 隔离 | | | 建立法人新实体 |

（Carley，2003）

相似地，社会中也会存在一组过程会对网络中连接的添加、维持和删除等变化产生影响。基本的过程分为认知性、社会性及政治性的过程，如表 2-3 所示。

表 2-3　元矩阵中连接变化的基本驱动过程

| 项　目 | 人 | 知识/资源 | 事件/任务 | 组　织 |
|---|---|---|---|---|
| 人 | 个体交互 | 学习 | 规划安排 | 招聘 |
| 知识/资源 | | 知识发现<br>类比推理 | 创新 | 知识产权<br>管理与研发 |
| 事件/任务 | | | | 再设计<br>外包 |
| 组织 | | | | 联盟 |

（Carley，2003）

## 2.3　社会网络上的病毒传播

社会网络上传播动力学的理论和应用研究是动态网络分析的一个重要方向。对于实际社会系统中的传播行为，例如，计算机病毒在 Internet 网络上的蔓延；艾滋病、“非典”“甲流”等传染病在人类社会中的流行；社会舆情（谣言和舆论等）在人类社会和社交网络中的演化等；情感、创新、流行、产品等在社会网络上的信息传播等，都可以归结为社会网络上的某种有规则的病毒传播行为。对社会网络的传播机理与动力学行为以及对这些行为高效、可行的控制方法进行研究具有重大的社会意义。

传统的理论认为只有当有效传播率超过一个正的阈值时，大规模的传播才有可能。然而在实际网络中，即使有效传播率非常低，只要网络中存在感染节点，就会泛滥到整个网络，如计算机病毒的全面爆发。研究表明，当网络规模无限增大时，无标度网络的阈值趋于零，这意味着即使是很微小的传染源也足以在庞大的网络中蔓延（Pastor-Satorras 和 Vespignani，2001）。

### 2.3.1　基于生物学的经典病毒传播模型

在典型的传播模型中，系统中个体被分为以下几类，每一类都处于一个状态。

S(Susceptible)——易感染状态。此类个体一般为健康个体，但可以被病毒感染。

I(Infected)——感染状态。此类个体已经被病毒感染，并具备感染其他健康个体的能力。

R(Remove/Recover)——免疫状态。此类个体分为两种情况：①个体仍然在系统中，但是已经接受"疫苗"，终生不具备感染其他健康个体的能力，也不能被其他个体再次感染；②个体已经从系统中被移去。

E(Escape)——潜伏状态。此类个体已经被病毒感染，但处于潜伏期，不具备传染其他个体的能力。

**1. SI 模型**

在 SI 模型中，系统中的个体被划分为两类，即易感染个体 S 和感染个体 I。在病毒爆发初期，网络中某几个个体被感染病毒，并通过一定的概率将病毒传染给它的邻居个体。一旦 S 类个体被感染，则成为 I 类个体，此时这些个体又成为新的感染源，感染系统中其他的个体。它是病毒传播中最简单的传播模型。对于那些被感染后却不能治愈的疾病或者病毒，往往使用 SI 传播模型，如艾滋病等。该模型有以下假设条件。

(1) 所有的个体都是脆弱的，即对病毒不具备免疫能力，均有可能被感染。

(2) 如果某个个体被感染，则该个体将处于已感染状态。

(3) 假定系统中的个体总数是恒定不变的。在最初的传染病模型中，由于短时期内新生、死亡、迁移的人数相对于系统总人数的影响可以忽略，故而假定系统中总人数为常数是合理的。

令 $s(t)$ 和 $i(t)$ 分别表示网络在 $t$ 时刻处于 S 状态和 I 状态的个体密度（占个体总数的比例），$\lambda$ 为 S 类个体被感染为 I 类个体的概率，$N$ 为系统个体总个数，则每个感染个体会使 $\lambda s(t)$ 个个体被感染，在该网络中已感染个体的个数为 $Ni(t)$，则 SI 模型中病毒传播的动力学行为如式(2-23)描述的微分方程组，即

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}s(t)}{\mathrm{d}t} = -\lambda i(t)s(t) \\ \dfrac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t} = \lambda i(t)s(t) \end{cases} \tag{2-23}$$

系统所有个体只有两种状态，则有

$$s(t) + i(t) = 1 \tag{2-24}$$

假设初始时刻，感染个体的密度初值 $i(0)=i_0$，则式(2-24)转化为

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t} = \lambda i(t)s(t) = \lambda i(t)(1-i(t)) \\ i(0) = i_0 \end{cases} \tag{2-25}$$

式(2-25)分离变量，得

$$\frac{\mathrm{d}i(t)}{i(t)(1-i(t))} = \lambda \mathrm{d}t \Rightarrow \frac{\mathrm{d}i(t)}{i(t)} + \frac{\mathrm{d}i(t)}{(1-i(t))} = \lambda \mathrm{d}t \tag{2-26}$$

两边积分，代入初值，得

$$\ln \frac{1-i(t)}{i(t)}=-\lambda t+c \Rightarrow i(t)=\frac{1}{1+\left(\frac{1}{i_0}-1\right) e^{-\lambda t}} \tag{2-27}$$

式(2-27)表明，当时间充分长时，SI 模型的最终状态是系统中的所有个体都被感染为 I 类节点。该模型用于描述传染病的初期传播过程。

### 2. SIS 模型

SIS 模型与 SI 模型类似，系统中的节点也只有易感染和感染两种状态，但是在该模型中感染的个体通过一定的概率把病毒传染给易感染个体后，自己又以一定的概率被治愈，重新变成 S 类个体。对于像感冒之类治愈后还可能再复发的疾病，往往采用 SIS 模型来描述。

记 $\alpha$ 为 S 类个体被感染为 I 类个体的概率，$\beta$ 为 I 类个体恢复为 S 类个体的治愈概率，$s(t)$、$i(t)$分别表示系统在 $t$ 时刻处于 S 状态和 I 状态的个体密度，则在 SIS 模型中病毒传播的动力学行为可以用式(2-28)描述微分方程组，即

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}s(t)}{\mathrm{d}t}=-\alpha i(t)s(t)+\beta i(t) \\ \dfrac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t}=\alpha i(t)s(t)-\beta i(t) \end{cases} \tag{2-28}$$

令有效传染率 $\lambda=\alpha/\beta$，结合式(2-24)，式(2-28)转化为

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}i(t)}{\beta \mathrm{d}t}=i(t)((\lambda-1)-\lambda i(t)) \\ i(0)=i_0 \end{cases} \tag{2-29}$$

可以解得

$$i(t)=\frac{\lambda-1}{\lambda+\left(\frac{\lambda-1-\lambda i_0}{i_0}\right) e^{-(\lambda-1)\beta t}}=\frac{1-1/\lambda}{1+\left(\frac{\lambda-1-\lambda i_0}{\lambda i_0}\right) e^{-\alpha(1-1/\lambda)\beta t}} \tag{2-30}$$

该方程存在阈值 $\lambda_c=1$，令 $T$ 代表达到稳态所经历的时间。当 $\lambda<\lambda_c$ 时，稳态解 $i(T)=0$，这是由于传染期内经有效接触从而使易感染个体变为感染个体的数目不超过初始原有的感染个体的个数；而当 $\lambda \geqslant \lambda_c$ 时，$i(t)$的增减取决于 $i_0$ 的大小，其极限值 $i(\infty)=1-1/\lambda$。随 $\lambda$ 的增加而增加，其稳态解 $i(T)=c>0$。

### 3. SIR 模型

在 SIR 模型中，系统除了存在易感染个体 S、感染个体 I 以外，还存在免疫个体 R。免疫个体是指被治愈后并获得免疫能力的个体，这类节点不具有传染能力，也不会被传染。对于像水痘这类治愈后获得免疫的传染病，往往可以采用 SIR 模型来描述。

记 $\alpha$ 为 S 类个体被感染为 I 类个体的概率，$\beta$ 为 I 类个体被治愈并获得免疫能力成为 R 类个体的概率，$s(t)$、$i(t)$、$r(t)$分别表示系统在 $t$ 时刻处于 S 状态、I 状态和 R 状态的个体密度，则在 SIR 模型中病毒传播的动力学行为可以用式(2-31)描述微分方程组，即

$$
\begin{cases}
\dfrac{\mathrm{d}s(t)}{\mathrm{d}t} = -\alpha i(t)s(t) \\
\dfrac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t} = \alpha i(t)s(t) - \beta i(t) \\
\dfrac{\mathrm{d}r(t)}{\mathrm{d}t} = \beta i(t)
\end{cases}
\tag{2-31}
$$

随着时间的推移，上述模型中的感染个体将逐渐增加。但是，经过充分长的时间后，因为易感染个体的不足使得感染个体也开始减少，直至感染个体数变为 0，传染过程结束。SIR 模型也存在一个阈值 $\lambda_c$，当 $\lambda<\lambda_c$ 时，感染无法扩散出去；而当 $\lambda>\lambda_c$ 时，传染爆发且是全局的，系统中所有个体都处于移除状态，而感染个体数变为 0。

#### 4. SIRS 模型

在 SIRS 模型中，系统存在易感染个体 S、感染个体 I、免疫个体 R 三类个体，与 SIR 模型不同的是，在 SIRS 模型中，处于移除状态的个体 R 会以概率 $\gamma$ 失去免疫力。SIRS 模型适合于描述免疫期有限或者免疫能力有限的疾病。

假设 $t$ 时刻系统中处于 S 状态、I 状态和 R 状态的个体密度分别为 $s(t)$、$i(t)$ 和 $r(t)$。当易感染个体和感染个体充分混合时，SIRS 模型中病毒传播的动力学行为可以用如式(2-32)描述微分方程组，即

$$
\begin{cases}
\dfrac{\mathrm{d}s(t)}{\mathrm{d}t} = \gamma r(t) - \alpha i(t)s(t) \\
\dfrac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t} = \alpha i(t)s(t) - \beta i(t) \\
\dfrac{\mathrm{d}r(t)}{\mathrm{d}t} = \beta i(t) - \gamma r(t)
\end{cases}
\tag{2-32}
$$

#### 5. SEIR 模型

与 SIR 模型不同，SEIR 模型系统中的个体有一个新的状态，易感染个体 S 与感染个体 I 接触后先以一定概率 $\alpha$ 变为潜伏状态 E，然后再以一定概率 $\beta$ 变为感染状态 I。这套状态并不严格地对应任何特定的疾病，而是考虑一大类不同的病毒传播中最相关的特征和参数。SEIR 模型适合于描述具有潜伏状态的疾病，如季节性的感冒。

假设 $t$ 时刻系统中处于 S 状态、E 状态、I 状态和 R 状态的个体密度分别为 $s(t)$、$e(t)$、$i(t)$ 和 $r(t)$，SEIR 模型中病毒传播的动力学行为可以用式(2-33)描述微分方程组，即

$$
\begin{cases}
\dfrac{\mathrm{d}s(t)}{\mathrm{d}t} = -\alpha s(t)i(t) + \mu i(t) \\
\dfrac{\mathrm{d}e(t)}{\mathrm{d}t} = \alpha s(t)i(t) - \beta e(t) \\
\dfrac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t} = \beta e(t) - (\gamma + \mu)i(t) \\
\dfrac{\mathrm{d}r(t)}{\mathrm{d}t} = \gamma i(t)
\end{cases}
\tag{2-33}
$$

## 2.3.2 无标度网络中的病毒传播机制

随机网络中存在正有限的传播阈值 $\lambda_c$，即使网络规模很大，且有效传播率 $\lambda$ 大于阈值 $\lambda_c$，病毒也会波及网络中的大量节点。但实证研究表明，计算机病毒、麻疹等病毒一般仅波及网络中少数节点（有效传播率很小），也会造成大规模的计算机病毒和生物病毒的流行，也就是说，影响很微小的传染源也足以在庞大的网络中肆意蔓延。这一结果的产生正是因为大部分真实网络并不是随机网络，而是无标度网络。

### 1. 基于 SIS 模型

假设 $t$ 时刻无标度网络中度为 $k$ 的节点组中感染节点的相对密度（概率）为 $\rho_k(t)$，则它满足微分方程，即

$$\frac{\mathrm{d}\rho_k(t)}{\mathrm{d}t}=-\rho_k(t)+\lambda k(1-\rho_k(t))\Theta(\rho_k(t)) \tag{2-34}$$

式中 $\lambda$——有效传播率；

$-\rho_k(t)$——湮灭项，表示感染节点以单位速率恢复健康；

$\lambda k(1-\rho_k(t))\Theta(\rho_k(t))$——产生项，其中 $(1-\rho_k(t))$ 表示易感染节点的密度，是除了度为 $k$ 的感染节点外，其余节点的密度，$\Theta(\rho_k(t))$ 表示度为 $k$ 的节点与感染节点相连的概率。

可见产生项与 $\lambda$、$(1-\rho_k(t))$、$k$ 以及 $\Theta(\rho_k(t))$ 均成正比。

对于非关联的（Uncorrelated）无标度网络，任何一个节点的度与它的邻居节点的度是相互独立的，有

$$\Theta(\rho_k(t))=\sum_{k'}P(k'\mid k)\rho_{k'}(t)=\sum_{k'}\frac{k'P(k')\rho_{k'}(t)}{\sum_k kP(k)}$$

$$=\frac{1}{<k>}\sum_{k'}k'P(k')\rho_{k'}(t) \tag{2-35}$$

式中 $P(k'|k)$——度为 $k$ 的节点与度为 $k'$ 的节点相连接的概率。

设 $\rho_k$ 为度为 $k$ 的节点组中感染个体的稳态密度。显然，$\rho_k$ 只是 $\lambda$ 的函数，因而稳态时相应的概率 $\Theta$ 也变为 $\lambda$ 的隐函数。利用稳态条件 $\frac{\mathrm{d}\rho_k(t)}{\mathrm{d}t}=0$，得

$$\rho_k=\frac{k\lambda\Theta(\lambda)}{1+k\lambda\Theta(\lambda)} \tag{2-36}$$

将式(2-35)和式(2-36)合并，有

$$\Theta(\lambda)=\sum_{k'}P(k'\mid k)\rho_{k'}=\frac{1}{<k>}\sum_{k'}\frac{\lambda k'^2P(k')\Theta(\lambda)}{1+\lambda k'\Theta(\lambda)} \tag{2-37}$$

利用式(2-37)求得 $\Theta(\lambda)$，再代入式(2-36)可以解得 $\rho_k$。最终的感染个体稳态密度 $\rho$ 为

$$\rho = \sum_k P(k)\rho_k \tag{2-38}$$

由式(2-37)得

$$\Theta(\lambda)\left(1 - \frac{1}{<k>}\sum_{k'}\frac{\lambda k'^2 P(k')}{1+\lambda k'\Theta(\lambda)}\right) = 0 \tag{2-39}$$

显然，式(2-39)存在一个平凡解 $\Theta(\lambda)=0$，将 $\Theta(\lambda)$ 简记为 $\Theta$，令

$$F_1(\Theta) = \Theta \tag{2-40}$$

$$F_2(\Theta) = \frac{1}{<k>}\sum_{k'}\frac{\lambda k'^2 P(k')\Theta}{1+\lambda k'\Theta} \tag{2-41}$$

式(2-40)和式(2-41)的交点即为式(2-39)的解。求式(2-41)的一、二阶导数，有

$$\frac{\mathrm{d}F_2(\Theta)}{\mathrm{d}\Theta} = \frac{1}{<k>}\sum_{k'} k'P(k')\frac{\lambda k'}{(1+\lambda k'\Theta)^2} > 0 \tag{2-42}$$

$$\frac{\mathrm{d}^2 F_2(\Theta)}{\mathrm{d}\Theta^2} = -\frac{1}{<k>}\sum_{k'} k'P(k')\frac{2(\lambda k')^2}{(1+\lambda k'\Theta)^3} < 0 \tag{2-43}$$

可知，$F_2(\Theta)$在 $\Theta$ 的定义域内单调递增且向上凸，即

$$\left.\frac{\mathrm{d}F_2(\Theta)}{\mathrm{d}\Theta}\right|_{\Theta=0} < 1 \tag{2-44}$$

$F_1(\Theta)$和$F_2(\Theta)$图像如图 2-12(a)所示。

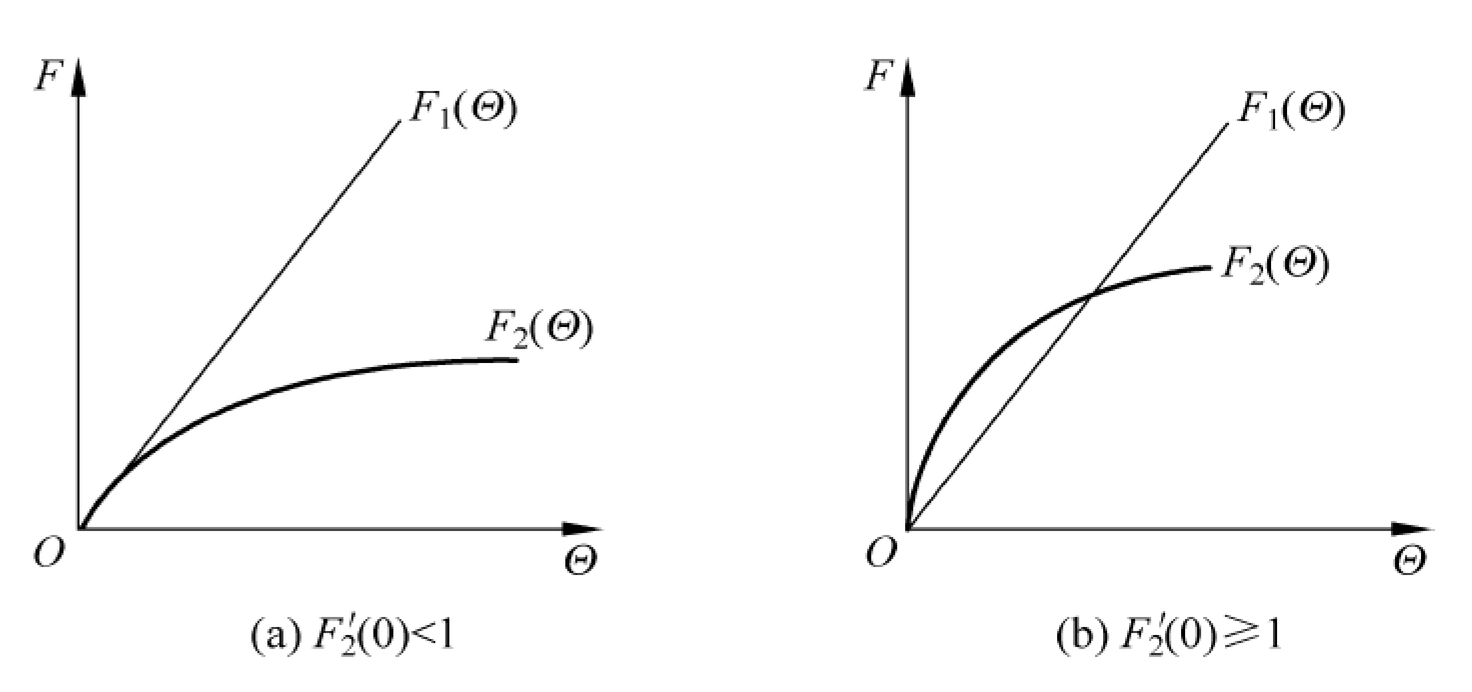



图 2-12　$F_1(\Theta)$和$F_2(\Theta)$函数关系

显然$F_1(\Theta)$和$F_2(\Theta)$除了 $\Theta=0$，不会有其他的交点，故而不可能存在非平凡解 $\Theta\neq 0$。因此若要式(2-39)存在一个非平凡解 $\Theta\neq 0$，则必须满足

$$\left.\frac{\mathrm{d}F_2(\Theta)}{\mathrm{d}\Theta}\right|_{\Theta=0} = \frac{1}{\langle k\rangle}\sum_{k'} k'P(k')\left.\frac{\lambda k'}{(1+\lambda k'\Theta)^2}\right|_{\Theta=0} \geqslant 1 \tag{2-45}$$

即有

$$\sum_{k'}\frac{\lambda k'^2 P<k>}{<k>} = \frac{<k^2>}{<k>}\lambda \geqslant 1 \tag{2-46}$$

此时，$F_1(\Theta)$和$F_2(\Theta)$图像如图 2-12(b)所示。于是，可求得无标度网络上 SIS 传播模型的阈值为

$$\lambda_c = \frac{<k>}{<k^2>} \tag{2-47}$$

对于幂律指数为 $2<\gamma\leqslant 3$ 的无标度网络，当网络规模 $N\to\infty$ 时，$<k^2>\to\infty$，从而 $\lambda_c\to 0$。由此可见，在无标度网络中，无论传染概率多么小，流行病都能持久存在，这个结果很好地解释了为什么病毒与舆论可以在 Internet 与社会网络中传播得如此快。

**2. 基于 SIR 模型**

假设一个度为 $k$ 的节点组处于易感染状态、感染状态和移除状态的密度分别为 $s_k(t)$、$i_k(t)$ 和 $r_k(t)$，则它们满足约束关系式

$$s_k(t) + i_k(t) + r_k(t) = 1 \tag{2-48}$$

与 SIS 模型分析类似，令

$$\Theta(t) = \sum_{k'} P(k' \mid k)\, i_{k'}(t) = \frac{k'P(k')}{\langle k\rangle} i_{k'}(t) \tag{2-49}$$

得动力学演化方程式为

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}\, s_k(t)}{\mathrm{d}t} = -\lambda k s_k(t)\Theta(t) \\ \dfrac{\mathrm{d}\, i_k(t)}{\mathrm{d}t} = \lambda k s_k(t)\Theta(t) - i_k(t) \\ \dfrac{\mathrm{d}\, r_k(t)}{\mathrm{d}t} = i_k(t) \end{cases} \tag{2-50}$$

上述方程组初始条件为 $r_k(0)=0$、$i_k(0)=i_0$ 和 $s_k(0)=1-i_0$。在极限 $i_0\to 0$ 时，可以取 $i_k(0)\approx 0$，$s_k(0)\approx 1$。在近似条件下，式(2-50)第一个方程为

$$s_k(t) = \mathrm{e}^{-\lambda k\varphi(t)} \tag{2-51}$$

在式(2-51)中，有

$$\varphi(t) = \int_0^t \Theta(\tau)\mathrm{d}\tau = \frac{1}{\langle k\rangle}\sum_{k'} k'P(k')\int_0^t i_{k'}(\tau)\mathrm{d}\tau \tag{2-52}$$

由式(2-50)第三个方程以及式(2-52)可知

$$\varphi(t) = \int_0^t \Theta(\tau)\mathrm{d}\tau = \frac{1}{\langle k\rangle}\sum_{k'} k'P(k')\, r_{k'}(t) \tag{2-53}$$

结合式(2-51)和式(2-52)的导数可简化为

$$\begin{aligned} \frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t} &= \frac{1}{<k>}\sum_{k'} k'P(k')\, i_{k'}(t) = \frac{1}{\langle k\rangle}\sum_{k'} k'P(k')(1 - r_{k'}(t) - s_{k'}(t)) \\ &= 1 - \varphi(t) - \frac{1}{<k>}\sum_{k'} k'P(k')\,\mathrm{e}^{-\lambda k'\varphi(t)} \end{aligned} \tag{2-54}$$

由式(2-54)得到关于 $\varphi(t)$ 的一个自治方程，它在给定的 $P(k)$ 条件下可以求解。一旦得到 $\varphi(t)$，就可以得到 $\varphi_\infty = \lim\limits_{t\to\infty}\varphi(t)$，从而 $r_k(\infty)=1-s_k(\infty)$，得

$$r_\infty = \sum_k P(k)(1 - \mathrm{e}^{-\lambda k\varphi_\infty}) \tag{2-55}$$

根据式(2-54)，由 $i_k(\infty)=0$，得 $\lim\limits_{t\to\infty}\frac{\mathrm{d}\varphi(t)}{\mathrm{d}t}=0$，从而得关于 $\varphi_\infty$ 的方程为

$$\varphi_\infty = 1 - \frac{1}{<k>}\sum_{k'} k'P(k')\,\mathrm{e}^{-\lambda k'\varphi_\infty} \tag{2-56}$$

为了得到式(2-56)非平凡解，必须满足

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\,\varphi_\infty}\left(1 - \frac{1}{\langle k\rangle}\sum_{k'} k'P(k')\,\mathrm{e}^{-\lambda k'\varphi_\infty}\right)\Bigg|_{\varphi_\infty=0} \geqslant 1 \tag{2-57}$$

于是有

$$\frac{1}{<k>}\sum_{k'}\lambda\, k'^2 P(k') = \lambda\,\frac{<k^2>}{<k>} \geqslant 1 \tag{2-58}$$

从而得到阈值为

$$\lambda_c = \frac{<k>}{<k^2>} \tag{2-59}$$

这个结果与 SIS 模型完全相同。

### 2.3.3 有限规模无标度网络的传播阈值

当网络规模无限大时，无标度网络的传播阈值接近于零。但是很多实际网络的规模都是有限的，如果是规模有限的无标度网络，它的传播阈值又会是什么样的呢？

由式(2-59)可知，无限规模无标度网络的传播阈值为 0，完全是由于 $\langle k^2\rangle=\infty$ 的缘故。而对于有限规模的无标度网络来说，其度的取值范围是有限的。假设其最大度为 $k_{max}$，根据度分布规律可以求出一个有限的 $<k^2>$ 值。

对于一个具有指数截止度(最大连接度)分布的无标度网络，假设度分布为

$$P(k) = A\,k^{-\gamma}\,\mathrm{e}^{-k/k_c} \tag{2-60}$$

式(2-60)中，$\gamma$ 为指数，$2<\gamma<3$；$k_c$ 为截止度；$A$ 为归一化因子，满足

$$A = \frac{1}{\displaystyle\int_m^\infty k^{-\gamma}\,\mathrm{e}^{-k/k_c}\,\mathrm{d}k} \tag{2-61}$$

式(2-61)中，$m$ 为网络中的最小度，该度分布能保证 $<k^2>$ 有界。

2002 年，Pastor-Satorras 和 Vespignani 推导了其在 SIS 传播模型下对应的非零传播阈值。根据式(2-59)，得

$$\lambda_c(k_c) = \frac{<k>}{<k^2>} = \frac{\displaystyle\int_m^\infty k^{1-\gamma}\,\mathrm{e}^{-k/k_c}\,\mathrm{d}k}{\displaystyle\int_m^\infty k^{2-\gamma}\,\mathrm{e}^{-k/k_c}\,\mathrm{d}k} \tag{2-62}$$

若令

$$\Gamma(\gamma, m) = \int_m^\infty k^{\gamma-1}\,\mathrm{e}^{-k}\,\mathrm{d}k \tag{2-63}$$

为非完整积分的 Gamma 函数，则式(2-62)的结果可写为

$$\lambda_c(k_c)=\frac{<k>}{<k^2>}=\frac{1}{k_c}\cdot\frac{\Gamma(2-\gamma,m/k_c)}{\Gamma(3-\gamma,m/k_c)} \tag{2-64}$$

而指数截止度分布的平均度为

$$<k>=\int_m^\infty Ak^{1-\gamma}\mathrm{e}^{-\frac{k}{k_c}}\mathrm{d}k=\frac{\int_m^\infty k^{1-\gamma}\mathrm{e}^{-\frac{k}{k_c}}\mathrm{d}k}{\int_m^\infty k^{-\gamma}\mathrm{e}^{-\frac{k}{k_c}}\mathrm{d}k}=k_c\cdot\frac{\Gamma(2-\gamma,m/k_c)}{\Gamma(1-\gamma,m/k_c)} \tag{2-65}$$

为了在相同的平均度条件下比较有限规模无标度网络和随机网络传播阈值,可得到具有式(2-65)的平均度的随机网络的传播阈值为

$$\lambda_c^H=\frac{1}{<k>}=\frac{1}{k_c}\cdot\frac{\Gamma(1-\gamma,m/k_c)}{\Gamma(2-\gamma,m/k_c)} \tag{2-66}$$

根据式(2-64)和式(2-66),得两种网络的传播阈值比值为

$$\frac{\lambda_c(k_c)}{\lambda_c^H}=\frac{(<k>)^2}{<k^2>}=\frac{\left[\Gamma\left(\frac{2-\gamma,m}{k_c}\right)\right]^2}{\Gamma\left(1-\gamma,\frac{m}{k_c}\right)\cdot\Gamma\left(3-\gamma,\frac{m}{k_c}\right)} \tag{2-67}$$

当 $k_c$ 比较大时,对于 $2<\gamma<3$,对式(2-64)进行 Taylor 展开并保留主要项,得

$$\lambda_c(k_c)\approx\frac{1}{\Gamma(3-\gamma)\cdot m\cdot(\gamma-2)}\left(\frac{k_c}{m}\right)^{\gamma-3} \tag{2-68}$$

由式(2-68)可见,随着截止度 $k_c$ 的逐渐增加,传播阈值将趋于 0。在 $k_c$ 比较大时,指数截止度分布的平均度($\gamma>2$)基本上固定为

$$<k>=\frac{m(\gamma-1)}{\gamma-2} \tag{2-69}$$

于是

$$\lambda_c^H=\frac{1}{<k>}=\frac{\gamma-2}{m(\gamma-1)} \tag{2-70}$$

根据式(2-68)和式(2-70),当 $k_c$ 较大时,两种网络的传播阈值比值近似为

$$\frac{\lambda_c(k_c)}{\lambda_c^H}\approx\frac{\gamma-1}{\Gamma(3-\gamma)\cdot(\gamma-2)^2}\left(\frac{k_c}{m}\right)^{\gamma-3} \tag{2-71}$$

为了更形象地对比随机网络和有限规模无标度网络的传播阈值,图 2-13 给出在各种指数 $\gamma$ 条件下传播阈值比值随着截止度 $k_c$ 的变化曲线。

从图 2-13 中可以看出,对于 $\gamma=2.5$ 的情况,即使取相对较小的 $k_c$,有限规模无标度网络的传播阈值约为随机网络中的 1/10。这说明有限规模无标度网络的传播阈值比随机网络的传播阈值要小得多,并且当 $k_c$ 增大或者网络规模趋于无穷大时,传播阈值仍会趋于零。所以,有限规模无标度网络对流行病传播还是有脆弱性的。在 SIS 模型下得到的传播阈值结论在 SIR 模型下都是成立的。这两种不同的传染过程并没有影响随机网络和无标度网络中的病毒传播阈值特性。

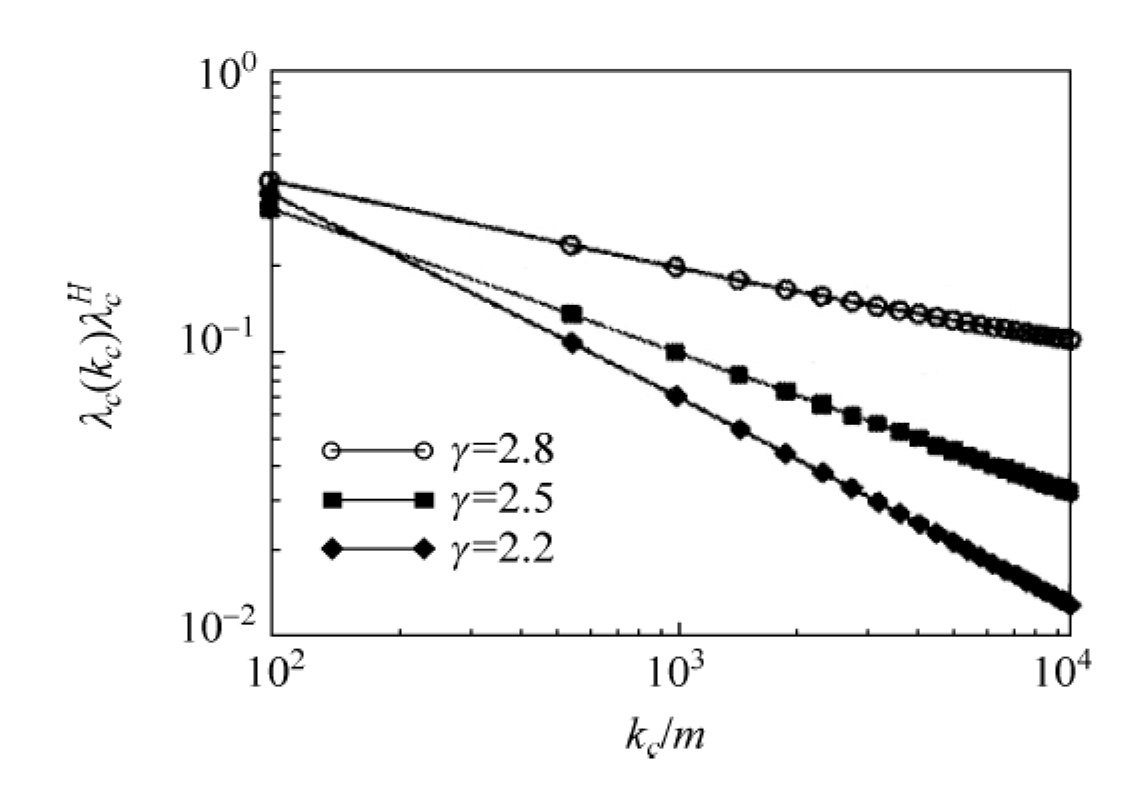



图 2-13　随机网络和有限规模无标度网络的传播阈值比值的变化曲线
（Pastor Satorras 和 Vespignani，2003）

## 2.4　本章小结

本章对动态网络分析的相关理论进行了简单论述。社会网络分析从静态性到动态性，从单一性到多样性，从图论、统计学到动态网络分析，并采用数据挖掘、机器学习以及社会仿真等方法，对网络动态演化的模式和规律进行探索。对社会网络上的病毒传播模型也进行了介绍，它是动态网络分析的一个重要方向，在复杂社会网络中的传播进行预测、干预、控制、引导等具有现实意义。

CHAPTER 3

# 第3章 人工社会与社会仿真

对社会网络进行建模和仿真是动态网络分析的两大研究内容之一。本章沿着人工社会，到复杂适应系统，再到社会仿真这条主线介绍。社会仿真方法很多，在3.4节中只介绍了跟后面应用相关的3种方法，即基于多智能体的仿真、元胞自动机以及基于QSIM定性仿真，其中基于多智能体的仿真是社会仿真的最重要方法。

## 3.1 人工社会

人工社会（Artificial Societies）的概念是由美国兰德（Rand）公司的Builder和Banks为研究信息技术对社会产生的影响于1991年正式提出的，它是人工生命的自然延伸。利用Agent技术构建人工社会，把计算机作为社会实验室，对不同的政策进行试验评估，从而了解各类信息技术和信息基础设施对社会的影响，以确保政策的有效性。

1996年，Epstein和Axtell两人共同完成了一个简单的人工社会系统模型——糖域模型（Sugarspace）。同年，美国Sandia国家实验室开发一个基于Agent蒙特卡罗仿真的人工经济系统模型——ASPEN模型。

1998年，英国萨里大学主办国际学术期刊《人工社会与社会仿真杂志》开始发行，标志着人工社会——基于Agent的社会仿真领域的成熟。

### 3.1.1 基本概念

人工社会是人类真实社会在计算机中的一种抽象，是一种研究社会科学的新方法。人工社会在计算机中模拟人类社会的个体——人，以及由个体组成的聚集体——组织。它的研究思路是基于人工生命的思想（李建会

和张江，2006）：由于人类社会是由大量的个人构成的复杂系统，因而可以在计算机中建立每个人的个体模型，这样的计算机中的人模型称为 Agent；然后让这些 Agent 遵循一定的简单规则相互作用；最后通过观察它们整体作用的涌现属性，找到人工社会的规律，并用这些规律解释和理解现实人类社会中的宏观属性和行为。

## 3.1.2　人工社会的构成

如图 3-1 所示，人工社会最基本的组成要素是社会中个体模型和描述将个体模型联系起来的交互规则模型。个体模型是对人工社会中“人”的模拟，而交互规则模型是对人工社会中“人”与“人”之间关系的抽象与描述。在很多研究中，研究对象与环境空间具有紧密的联系，此时交互作用不仅存在于研究对象之间，同时还需要与环境进行交互。例如“糖域模型”中，每个个体需要和环境进行交互。

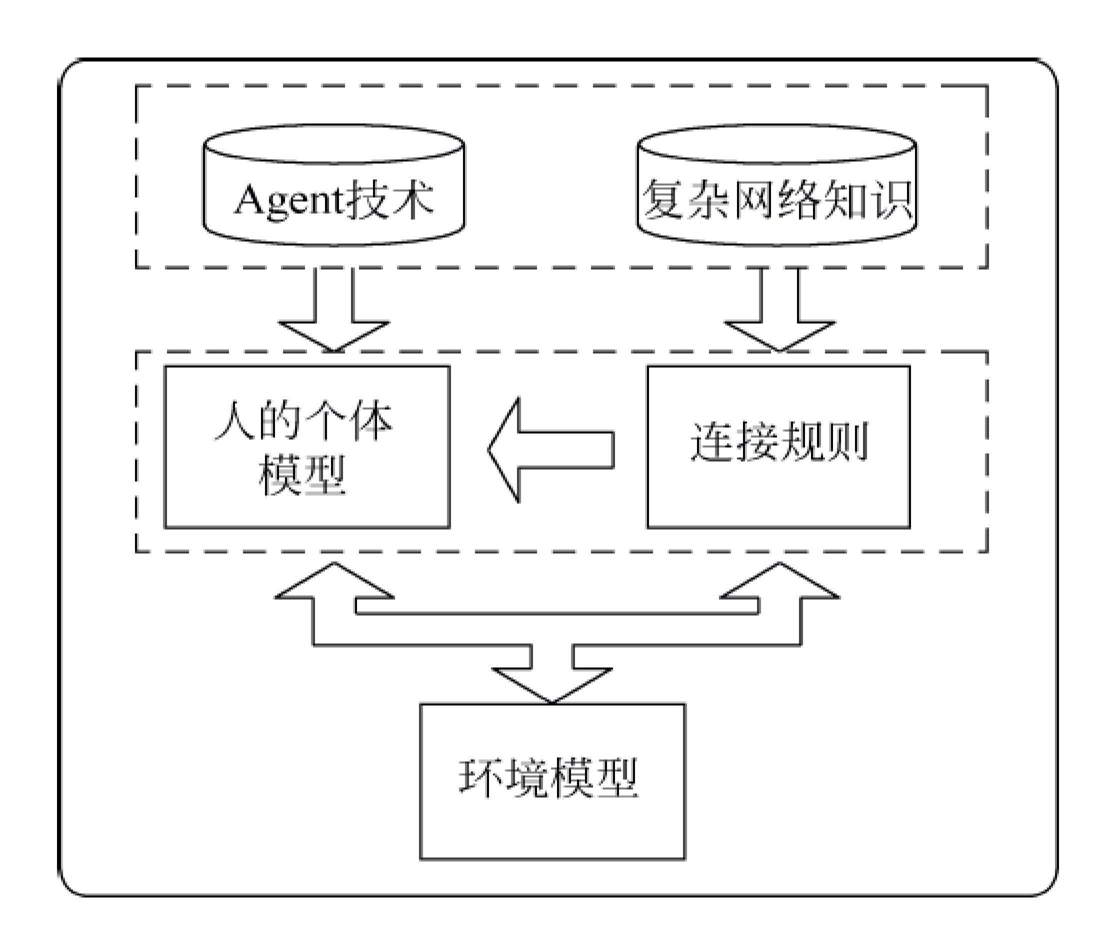



图 3-1　人工社会的构成
（宋智超，2012）

## 3.1.3　核心方法

人工社会的核心方法是基于 Agent 的建模与仿真（Agent-based Modeling and Simulation，ABMS）方法，它也是复杂适应系统理论的主要研究方法。最早研究 Agent 技术是在人工智能（Artificial Intelligence，AI）领域。开始研究集中在单个 Agent 的建模，后来人们逐渐把目光移到多个 Agent 的交互作用上，也就是多智能体系统，而且已经在社会科学领域中得到了广泛的应用。

### 1．Agent

Agent 的一个普遍认同的定义：在某一特定环境下，Agent 是一个计算实体，并且具有一定的生命周期，与其他实体相比，Agent 有其自身的独特特性，能够感知它所处环境的变化，能迅速地适应环境的变化，并能够在其中自主地运行，进一步影响环境，甚至改变其所在的环境。

一般来说，Agent 包括 5 个基本特性：自主性（Autonomy）、社会性（Sociability）、反应性（Reactivity）、主动性（Pro-activity）和智能性（Intelligence）。详见 3.4 节第一部分。

### 2．多 Agent 系统

多 Agent 系统（Multi-agent System，MAS）通常是由一组交互作用的、在系统中分别担任不同角色的、种类相同或不同的 Agent 组成的系统。这些 Agent 利用自身掌握的信息、规则以及全局信息和相互间的通信进行决策和相互协作。在它们之间错综复杂的相

互作用下，整个系统就可能表现出单个 Agent 不具有的特性——涌现行为。

MAS 一般具有以下特性。

（1）系统由多个 Agent 构成，这些 Agent 可以具有相同的或不同的结构，每个 Agent 都有自主决策和行为能力，也都有各自的目标与行为规则。

（2）系统中的 Agent 之间只有通过相互协调才能求解特定问题。

（3）系统中的 Agent 能力有限，所拥有的信息和相关的数据都是离散的，不存在集中处理数据的方式。

### 3. 基于多 Agent 的人工社会建模方法

基于多 Agent 的建模与仿真是一种面向对象、自下而上的方法。在该方法中，①Agent 作为系统的基本抽象单位，被赋予一定的智能；②采用相关的 Agent 技术，依据 Agent 类库建立复杂系统的行为个体的 Agent 模型；③利用系统体系结构组装这些 Agent，设置多个 Agent 之间的交互方式，建立整个复杂系统的模型。

人工社会的研究思路不同于传统的计算机仿真技术：①人工社会关心的是微观个体的简单行为如何涌现出宏观层次上的复杂属性，单个 Agent 的建模并不需要太复杂；②人工社会模型由微观个体组成，每个个体都有一定的学习和适应能力，并且可以独立决策；③在人工社会模型中，Agent 之间的交互存在非线性特征，这种非线性是无法用传统的仿真技术实现的。

基于多 Agent 人工社会建模机制和步骤如图 3-2 所示。

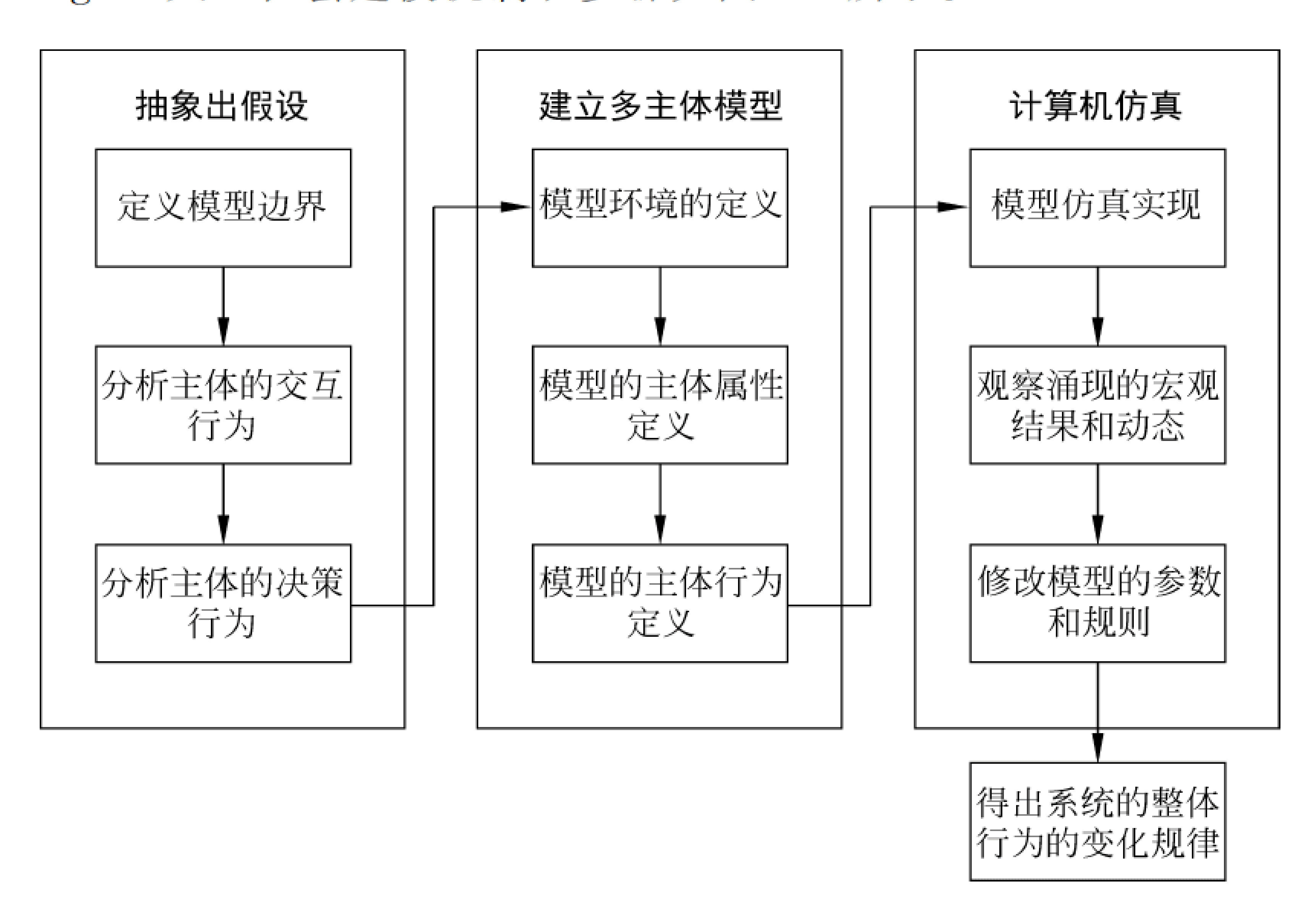



图 3-2　基于多 Agent 人工社会建模方法流程框图

（时振涛，2013）

（1）抽象出假设。观察系统原型，明确研究目标，明确研究的问题，定义模型边界。对所研究的人工社会系统中各类主体之间的交互和决策行为进行分析，区别各主体的层次和关系。以简化模型为原则，抽象出一系列的假设（H）。

（2）建立多主体模型。根据假设（H）建立的 Agent 的主体模型，以及 Agent 的行为规则（R），主要包括人工社会模型组成部分的环境定义、主体属性定义和行为定义。

（3）计算机仿真。在计算机环境下仿真，观察系统涌现的宏观结果（O）。根据涌现结果（O）得出结论，并对与其对应的现实社会进行对比分析和解释。修改所建模型中的各种参数和规则，观察这些参数是如何影响模型的运行结果的。

（4）反复试验，找到人工社会的规律。

# 3.2　复杂适应系统

1994 年，遗传算法的创始人霍兰（John Holland）正式提出了复杂适应系统（Complex Adaptive System，CAS）理论。这一理论的提出为人们认识、理解、管理和控制复杂系统提供了新的思路，它的思想正在逐步传播到各个领域，推动着人们更深入地探索复杂系统的行为规律。

## 3.2.1　CAS 理论的核心思想

CAS 理论把系统的成员看作是具有自身目的与主动性的积极的智能体。智能体能够与环境以及其他智能体进行交流，在这种交流的过程中“学习”或“积累经验”，并且根据学到的经验改变自身的结构和行为方式。整个系统因此而产生演变或进化，包括新层次的产生、分化和多样性的出现或新的、聚合而成的、更大的智能体的出现等。更重要的是，CAS 理论认为，正是这种主动性以及它与环境的反复的、相互的作用，才是系统发展和进化的基本动因。

Holland 把智能体与环境之间这种主动的、反复的交互作用，用“适应”一词加以概括。这就是 CAS 理论的基本思想——适应产生复杂性。CAS 理论的核心思想——“适应性造就复杂性”，是人们在系统运动和演化规律的认识方面的一个飞跃。

对于 CAS 理论的核心思想说明如下。

（1）智能体是主动的、活的实体。这点是 CAS 和其他建模方法的关键区别。这个特点使得它能够有效地应用于经济、社会、生态等其他方法难以应用的复杂系统。

（2）个体与环境（包括个体之间）的相互影响和相互作用，是系统演变和进化的主要动力。

（3）把宏观和微观有机地联系起来。它通过智能体和环境的相互作用，使得个体的变化成为整个系统变化的基础，统一地加以考察。

（4）引进了随机因素的作用，使它具有更强的描述和表达能力。

## 3.2.2 CAS 的基本概念

CAS 的基本概念分为属性和机制两类。

**1. 属性**

1）聚集

聚集(Aggregation)主要用于个体通过“黏合”形成较大的多智能体的聚集体。由于个体具有这样的属性，它们可以在一定条件下，在双方彼此接受时，组成一个新的个体——聚集体，在系统中像一个单独的个体那样行动。

2）非线性

CAS 理论认为个体之间的相互影响不是简单的、被动的、单向的因果关系，而是主动的“适应”关系。以往的“历史”会留下痕迹，以往的“经验”会影响将来的行为。按实际情况也是各种反馈作用交互影响、互相缠绕的复杂关系，即是非线性(Non-linearity)的。

3）流

在个体与环境之间，以及个体相互之间，存在着物质流、能量流和信息流。这些流(Flows)渠道是否畅通，周转迅速到什么程度，都直接影响系统的演化过程。

4）多样性

在适应过程中，由于种种原因，个体之间的差别会发展与扩大，最终形成分化，这是 CAS 的一个显著特点。CAS 的多样性(Diversity)是一种动态模式，通常具有持存性和协调性。

**2. 机制**

1）标识

在聚集过程中，有一种标识(Tag)机制在起作用。标识能够起到选择性作用。标识是隐含在 CAS 中具有共性的层次组织机构背后的机制。标识是为了聚集和边界生存而普遍存在的一个机制。标识能够保证选择性相互作用，它允许主体在一些不易分辨的主体或目标中去进行选择，CAS 用标识来操纵对称性。

2）内部模型

内部模型(Internal Models)表明了层次的观念，每个个体都是有复杂的内部机制的。其可以分为隐式内部模型和显式内部模型。

3）积木

复杂系统常常是在一些相对简单的部件的基础上，通过改变它们的组合方式而形成的。事实上的复杂性往往不在于块的多少和大小，而在于原积木(Building Blocks)的重新组合。使用积木生成内部模型，是复杂适应系统的一个普遍特征。

## 3.2.3 CAS 的特点

(1）涌现。也称为突现。涌现描述了一种从低层次到高层次、从局部到整体、从微观

到宏观的变化，它强调个体之间的相互作用。正是这种相互作用才导致具有一定功能特征和目的性行为的整体特性的出现，整体的宏观特性才不同于元素本身的性质。因此，复杂系统的一个重要特点是，系统具有不同于各个子系统特征的整体宏观行为。

(2) 系统规模大。系统规模大并没有一个严格的数字定义，而仅仅是一个定性的概念，不同的系统、不同的理解，数量也有所不同。如桑塔菲研究所(Santa Fe Institute)研究的复杂自适应系统要求系统中个体的数量为中等数量，他们认为个体数量不能过多，否则，系统的特性会出现统计学的规律，达不到复杂自适应系统的要求；而我国学者钱学森则认为系统规模需要为巨系统。从目前国内外研究人员的观点看来，都一致认为，系统规模是复杂系统的重要前提，规模过小，就不方便进行规范的描述和分析。

(3) 系统结构复杂、具有层次性。复杂系统的各个组成部分的多样性和差异性，造成组成部分之间相互关系的多样性和差异性，这是复杂系统的又一个重要的特点。复杂系统结构复杂，复杂系统各个部分之间具有复杂的拓扑关系。对于复杂系统而言，结构特征甚至比规模对复杂性的贡献更为明显。特别是复杂系统中的个体，或者组成成员之间的等级层次结构，一个层次对象的聚集成为上一个层次的对象，更是形成复杂系统的重要特征。

(4) 交互特性/关联特性。复杂系统中各个部分/对象并不是孤立存在的，任何部分/对象和其他部分/对象之间存在着大量相互的作用，伴随着这些相互作用的是信息、物、资金等的流动。通过这些物质的流动，使得复杂系统成为一个有机的整体，一个部分或者对象的变化或者改变，会通过这些关联来影响其他部分，甚至整个系统的行为。

(5) 主动性。主动性或者称为能动性或适应性。它指的是复杂系统中的组成部分可以根据其他组成部分或者外界环境的变化，依据自身的状态、规则或者其他非确定的因素，自主地采取动作，改变自身状态、结构甚至规则，达到适应复杂系统的目的。复杂系统中组成部分的主动性的程度，决定了整个系统行为的复杂性的程度，适应性产生复杂性。组成部分之间的相互作用与相互影响，是复杂系统演变和进化的主要动力。

(6) 非线性。哲学认为，事物发展变化的终极原因是相互作用。相互作用可以分为线性和非线性两种。线性系统都是简单系统，线性相互作用产生的是简单性，无法造就复杂性。非线性意味着无穷的多样性、差异性、可变性、非均匀性、奇异性和创新性。元素之间、子系统之间的非线性相互作用，是系统产生复杂性的根本内在机制，因此，复杂系统必定是非线性系统，非线性是复杂系统的重要特征。

(7) 不确定性/不可重复性。复杂系统是不确定的系统。对于完全确定性的系统，可以通过数学分析等规范的方法加以分析和推导，因此，从本质上说，完全确定的系统最终必定是简单系统。而只有具备不确定性的系统，才可能导致复杂性，形成复杂系统。

### 3.2.4 CAS 的建模与仿真

复杂适应系统理论建模的侧重点是建立抽象的表示方法以获得对客观世界和自然现象的深刻认识。CAS 理论的核心概念是 Agent，其方法基础是基于 Agent 和多智能体的理论与技术。

计算机建模与仿真是研究复杂适应系统的重要科学途径。从本质上讲，复杂系统是不可重复系统，影响系统变化的不可控因素太多，无法重现系统，同时，复杂系统也是不可计算系统，不可能通过数学分析的方法，对复杂系统进行规范分析。对不可重复系统，特别是不可计算系统的研究，仿真是一个重要的甚至是唯一的研究手段。必须通过对复杂系统建立基于 Agent 的仿真模型，并在计算机中进行仿真，来理解系统中微观和宏观之间的内在联系，理解系统的非线性和动态性特征。

**1. 复杂适应系统的模型**

复杂适应系统的模型可用一个三元组来描述，即

**<Agents，环境，参数>**

Agents：它是所有仿真个体，即智能体的集合，模型中允许不同各类仿真个体的存在，并且每一类仿真个体的数量可以变化。个体能够感知它所处的环境，对外部刺激做出反应，在环境不断变化过程中，不断学习，提高自身的适应性。

环境：是 Agents 生存的空间环境，Agents 与 Agents 之间在环境中进行交互，如 Agents 间的通信、协作等。Agents 与环境间也可进行各种交互，如 Agents 采集环境中的资源，并给环境造成污染。模型中的环境因素有很多，如空间位置、空间距离、障碍、资源种类、资源丰度等，它们主要对 Agents 的各种行为产生约束和影响。

参数：复杂适应系统中存在各种外部控制因素、内部控制因素和关联因素，外部控制因素是外界对模型进行控制的窗口和手段，内部控制因素是内部 Agents 之间、它们与环境间协调工作的纽带。

**2. Agent 结构**

在一个复杂适应系统模型中，可用一个六元组来描述 Agent：

**Agent = <标识，类型，知识库，规则集，属性，参数>**

标识：标识是模型中 Agent 的 ID，不同 Agent 的标识是不同的，即每个 Agent 的标识是唯一的。

类型：由于系统中存在不同种类的 Agent，Agent 之间的关系可以是捕食关系、共生关系等。Agent 之间的关系可以非常复杂，这些都要通过类型和标识结合起来对它们进行处理。

知识库：不同种类的 Agent 所拥有的知识是不相同的，同一类 Agent 的知识也可以

不相同。Agent 拥有知识的不同是造成 Agent 性能、反应不相同的一个重要原因。

规则集：Agent 对外部刺激能够做出反应，就是把外部刺激当作外部输入，与规则集中的规则进行匹配，然后执行匹配规则，输出部分的响应。

属性：属性主要是指 Agent 的固定参数，如生态系统中昆虫的性别、繁殖力、寿命等，不同的 Agent 具有不同的属性值。

参数：参数主要是指 Agent 中可以变化、调控的量。如人的可控制量有人所处的地理位置、人的存款数量、食品购买量等。不由人控制，但又是动态变化的量，如人的年龄等。

### 3. 复杂适应系统建模仿真方法

基于 Agent 的复杂适应系统建模仿真方法如图 3-3 所示。

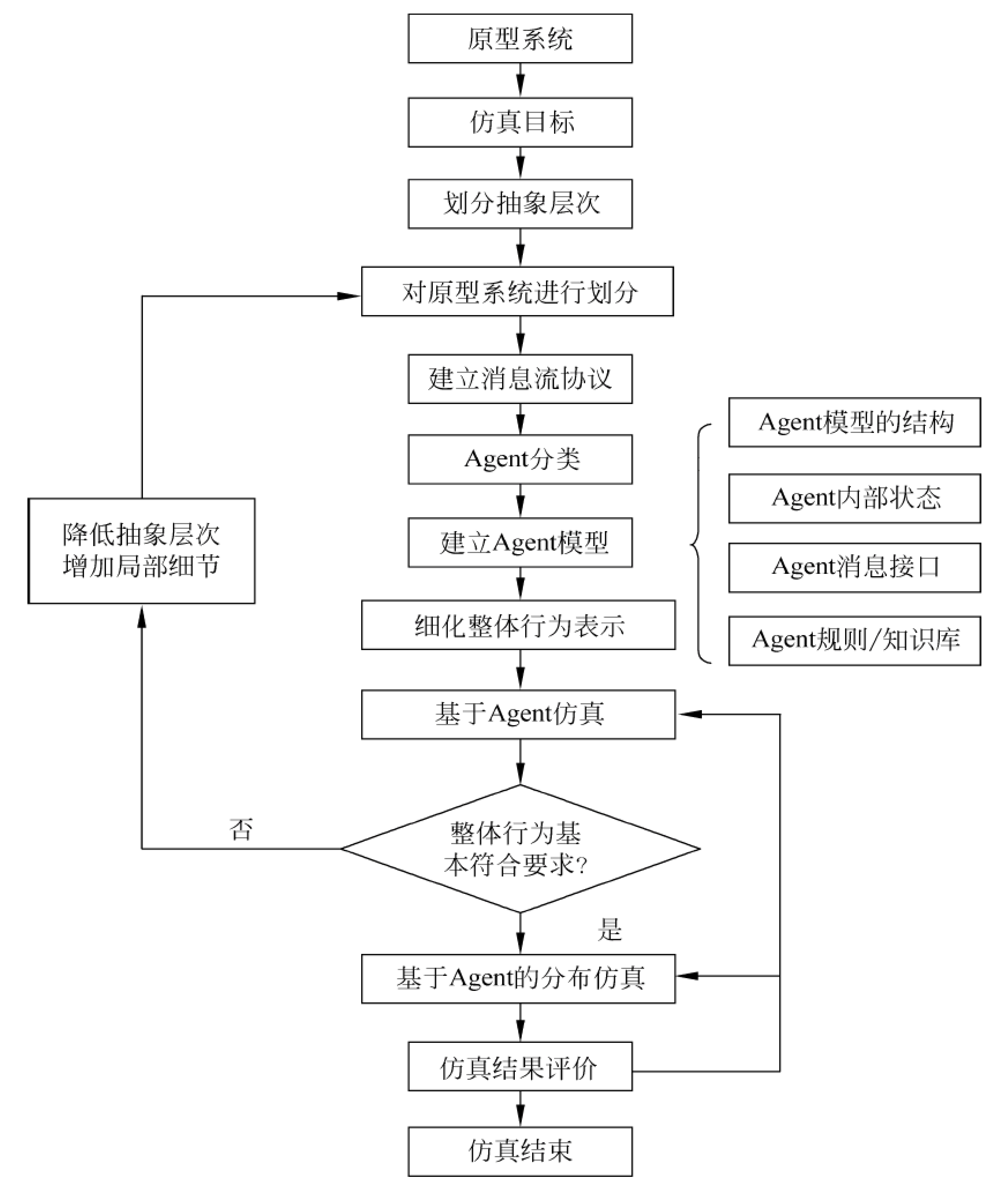



图 3-3　基于 Agent 的复杂适应系统建模仿真方法

## 3.3 社会仿真原因和目的

在构建人工社会和社会网络的时候，计算机仿真是基础方法，各种仿真实验所要研究的是社会科学中的问题，这类仿真称为社会仿真(Social Simulation)。

人类社会是一个由多种因素交互影响的复杂集体，是复杂性科学研究的主要对象之一，而计算机仿真技术，为研究复杂问题提供了一种虚拟的环境，避免了在真实环境下的不可操作性和需要持久性等所引发的困难(Epstein 和 Axtell，1996)。

### 3.3.1 社会仿真的原因

社会网络分析中选择社会仿真，王飞跃(2008)归纳为以下四点原因。

**1. 本质方面原因**

对应的社会复杂系统不能用还原法进行分解，因为分解后的系统已经在本质上不具有原系统的功能和作用。因此，不能还原分解成简单的单元进行研究，必须采用整体论的方法进行研究，这是困难之一。因此有必要采用社会仿真，如种族隔离仿真模型(Schelling，1971)，模型从简单的个体规则反映出宏观中复杂的隔离现象。

**2. 经济方面原因**

由于社会复杂系统的规模和成本等因素，要直接在真实系统上进行试验成本太大，在经济上是不能承受这种重复试验的，这是困难之二。因此有必要采用社会仿真。例如，人工股市系统 SFI-ASM(Arthur 等，1997)，对于股市行为的分析和试验，是不能在真实股市中运行的。

**3. 法律方面原因**

许多社会复杂系统涉及国家安全、社会安全和军事战备等问题，受立法保护，以至于无法直接在真实系统上进行试验，也不能重建这些系统进行试验，这是困难之三。因此有必要采用社会仿真，如反恐仿真系统(Carley，2003)，对恐怖网络组织的瓦解对策的分析，是不可能直接在真实恐怖网络上试验的。

**4. 道德方面原因**

许多社会复杂系统往往涉及大量人员，对这些系统进行试验，也有可能会危及人的生命和财产安全，或者对人们的正常生活造成较大影响，这在道德上是不能接受的，这是困难之四。因此有必要采用社会仿真，如病毒扩散仿真系统 BioWar(Carley 等，2006)，对病毒扩散中的免疫策略和预案的尝试，也是不可能在真实人群中开展的。

### 3.3.2 社会仿真的目的

对于采用社会仿真的目的，吴江(2012)也总结了以下 4 条。

### 1. 解释

利用仿真模型进行仿真实验，对社会复杂系统中各种复杂现象作出相应解释，从而了解背后的模式和规律。例如，在复杂网络的研究中，如小世界模型、BA 无标度网络模型等，都是通过设定简单规则，进行数值仿真，制造出与真实网络相似的仿真网络，并以此来判断诸如规则图重连、优先连接等简单规则是否为真实网络形成的模式和潜在规律。又如，谢林的隔离模型（Schelling，1971），通过简单的领域移动原则，构建了仿真模型，通过仿真实验，解释了黑人和白人的分区居住，在某种程度上并不是由种族歧视引起的，而是由简单的领域间适应性移动机制造成的。

### 2. 预测

社会仿真模型还具有预测功能。预测不仅体现在对真实时序数据的趋势分析，还体现在通过对真实数据的关联性进行挖掘分析。预测功能要求仿真模型是数据驱动的，利用真实数据的统计信息，并结合现有的各种社会和心理学等领域的理论构建模型。然后进行仿真实验，对宏观上所涌现出的各种现象进行预测。通过仿真模型和实验，可预测将来可能会发生的某种趋势，以及预测不曾观测到的现象。例如，在计算机领域，可以采用各种机器学习的方法，预测其他网络形成的趋势或者信息传播的途径。又例如，Helbing（1995）设计的社会动力（Social Force）模型，可以预测在行人发生大量人群拥挤时合理的逃散路径。

### 3. 实验

社会仿真模型的构建，需要搭建一个系统平台，会提供给用户交互界面，因此这个平台也是真实场景下的实验平台。通过 what-if（如果……那么）的场景分析，通过改变相关的参数，设定大量的参数组合，并安排重复实验，可以完成各种在真实世界中由于代价大而不能完成或者完成难度很大的实验。例如，在进行非常规性突发事件的应急管理的时候，通过仿真平台，可以尝试对各种处理预案进行测试，从而以最快的速度找到合适的预案。又例如，在军事演习中，通过仿真平台，可以对各种作战方案进行演练，在人参与下进行半自动化的决策分析。一方面，防止平台上的各种实验，给现实决策者更多参考意见；另一方面，决策者的各种想法也可以通过仿真平台来实验。

### 4. 教育

社会仿真模型还可以为现实人员从事各种活动提供教育平台。通过仿真实验，给现实人员展示各种事件发生的动态过程，以及可能会出现的后果。例如，在组织结构的设计中，如何设定层级关系，如何设定横向的部门结构，如何在项目执行时对组织人员安排作出动态调整，如何在机会来临的时候调整结构等问题，都可以通过仿真平台，对过去的或者将来可能会出现的场景进行重放，从而使得员工了解组织结构设计的机制和自己在当中所起的作用。又例如，在信息技术的采纳和组织扩散中，通过仿真平台了解信息系统在被组织员工采纳过程中可能会碰到的各种因素，以及这些因素是如何影响采纳过程

的动态性。

# 3.4 社会仿真建模与方法

社会仿真是一门集成了计算机科学、社会科学、系统科学等学科以及计算机仿真、多Agent系统、人工智能等技术的交叉研究领域。它为人们研究社会问题、管理问题开辟了一条全新的思路(Gilbert 和 Terna,2000)。

在社会仿真中,最常用的方法是基于 Agent 的建模与仿真。复杂适应系统中多个Agent组成的系统称为多智能体系统。下面重点介绍 3 种社会仿真建模方法,即基于多智能体的仿真、元胞自动机和基于 QSIM 定性仿真。

## 3.4.1 基于多智能体的仿真

基于智能体的建模与仿真(Agent-Based Modeling and Simulation,ABMS)是社会仿真中的一种重要方法。先介绍 Agent 的定义及特性,再介绍多智能体系统(MAS),之后介绍智能体互动,最后介绍基于 Agent 的建模(ABM)。

### 1. Agent 的定义及特性

Agent 是人工智能领域中一个非常重要的概念,它是由人工智能先驱马文·明斯基在他的著作《意识的社会》(*The Society of Mind*)中最先提出的(Minsky,1986)。

Agent 国内科学界称之为“智能体”或“主体”。

1) Agent 的定义

迄今为止,国际上对这一术语还没有一个标准而规范的定义,然而得到相关领域专家普遍认同的一种说法为:在某一特定的环境下,Agent 是一个计算实体,并且具有一定的生命周期,与其他的实体相比,Agent 有其自身的独特特性,能够感知它所处环境的变化,能迅速地适应环境的变化,并能够在其中自主地运行,进一步影响环境,甚至改变其所在的环境。

2) Agent 的特性

一般来说,Agent 包括 5 个基本特性。

(1) 自主性(Autonomy)。该特性是 Agent 的最根本的特性。Agent 在没有用户和其他 Agent 干预的情况下,也可以通过它的内部状态和它所拥有的知识,对外界环境进行感知,并对其所处的环境进行判断,自主地做出某种特定的最优决策进行运行。

(2) 社会性(Sociability)。Agent 通过某种特定的通信语言,使得系统中各个 Agent 之间及 Agent 与用户之间进行相互的通信交流,以此来实现不同 Agent 与用户之间进行相互协商与合作。

(3) 反应性(Reactivity)。Agent 能感知所处环境的变化,并根据所处环境的不同变化,在特定的时间内及时、迅速地做出与此环境变化相应的不同反应。

(4) 主动性(Pro-activity)。Agent 能根据所处环境的变化,通过判断其所接收到的特定信息,在系统中,不需要其他 Agent 或者用户的干预,主动地采取相应的行动,很好地体现了 Agent 面向目标的行为特征。

(5) 智能性(Intelligence)。Agent 是人工智能的一个分支,因此 Agent 具有某些特定程度的智能性是不言而喻的,它能比较好地实现推理、自主学习等具有智能的一系列行为。

3) Agent 的特征

(1) 可移动性(Mobility)。在计算机网络的任何状态下,Agent 能够自主地从网络中的一个节点移到另一个不同的新节点上,并能很好地维持着原有的运行状态。

(2) 适应性(Adaptability)。在 Agent 系统中,各个 Agent 能够适应其所在环境的变化,根据其自身所拥有的相关经验,通过学习相关知识适应新的环境,并能通过自身所具备的知识对环境进行学习,同时对其进行一定程度的改进,从而使得 Agent 对环境的适应能力更强,使得 Agent 能更好地适应多变的环境。

(3) 推理能力(Reasoning)。每个智能 Agent 都有一般知识,Agent 可以根据目标和抽象任务说明,选择较优的方法,然后采取一定的行动,不但能使得 Agent 的灵活性增强,而且使 Agent 具有相应的知识信息。

### 2. 多智能体系统

虽然单个 Agent 自身具有一定的决策能力和执行力,但是单个 Agent 所拥有的各项能力都比较有限,这就促使了多智能体系统(Multi-Agent System,MAS)出现。MAS 通过系统中信息资源使得若干个 Agent 保持独立完成某一特定问题的求解能力,多个 Agent 之间通过相互协助可以完成更多、更复杂的问题求解。同时 MAS 也是一个并行的、异步的、智能的系统。

多智能体系统(MAS)通常被人们定义为:有两个或两个以上具有不同功能的 Agent 组成的系统,其中系统中的各 Agent 之间可以进行相互的交互通信与协商合作,通过它们的相互作用,在一定程度上解决了单个 Agent 由于能力有限而无法解决的问题。在该系统中,每个 Agent 可以与其他 Agent 进行合作协商来完成它们共同的目标。

一般来说,MAS 具有以下特性。

(1) 系统由多个 Agent 构成,每个 Agent 都有自主特性,Agent 之间可以是相同的实体,也可以是不同的实体,它们都拥有各自的任务与动作。

(2) 系统中的单个 Agent 的能力有限,所拥有的知识和相关的数据是离散而非连续的,而且不存在集中的数据处理方式。

(3) 系统中的每个 Agent 之间,通过相互通信、共同协商以及合作来求解特定的问题。

### 3. 智能体互动

智能体互动是社会仿真得以演化的基础。吴江在他的著作《社会网络的动态分布与

仿真实验——理论与应用》中将智能体互动行为归纳为以下6种(吴江,2012)。

1）交换信息

智能体的交互势必会有信息的交换,从而使信息达到共享,也会促成整体上的文化和氛围的改变。例如,在对信息技术扩散的研究中,智能体通过交换它们对信息技术采纳的态度,从而影响其他智能体的采纳行为,最终从组织层面上影响整个组织实施信息化的程度;在面对市场机会时,组织要做到适应性,也需要建立流畅的信息上传下达的渠道;在信息传播中,信息在智能体间交换的同时,信息本身也会发生相应变化,又可能演变为谣言,或者成为某种舆论。

2）更新属性

智能体的交互势必会对自己或者其他智能体的属性产生影响,对此进行更新。智能体互动是一个离散的过程,因此这种属性的更新也是离散进行的。可以是同步的,即所有网络中的智能体都是同一个时间点上进行属性的更新,某个智能体的属性仅仅与它和其相关的其他智能体的上一个时间点的属性有关;也可以是异步的,即智能体是按照一定的顺序依次进行更新的,因此智能体当前时间点的属性会受到在队列前面更新的智能体属性的影响。在演化博弈的智能体仿真中,两种方式都被普遍采用。

3）优化效用

智能体通过互动,使得由智能体个体或者由它们所组成的群体和组织在绩效、收益或者效用上能够达到最优化。例如,在企业的供应链中,具有共同价值的企业,需要通过合作,使得企业能够获得最佳的收益;在广告推广中,也需要采取相应的策略,使得在社会网络中广告通过智能体的传播,能够在一个特定群体中达到最大的传播范围。在使用优化效用的互动规则时,需要结合各种优化和博弈理论来进行建模实施。

4）协同

智能体的互动要达到协同效用。在社会网络中,协同是指对依存关系的管理(Malone 和 Crowston,1994)。这种依存关系不仅包含人与人,或者企业与企业之间的协同,根据节点所代表的不同,也可以是事件与事件、资源与资源,以及资源与人、时间与人、事件与资源等的协同。协同的目标是要达到1+1>2的效果。采用协同规则时,应该结合元网络描述,对各种依存关系的管理进行优化。

5）移动

智能体在网络上或者其他空间中,还可以进行移动。移动的目的是找到最适宜的位置。例如,在隔离模型中,智能体通过移动找到与自己更加合适的邻居,提高自我满意度;在演化博弈的智能体仿真中,智能体在空间中可以移动,从而找到在互动博弈中自己的效用最高的位置(Helbing 和 Yu,2009)。

6）学习

智能体可以对周围的智能体行为,以及历史行为或者周围环境进行学习。其中,机器学习的方法,采用监督学习、非监督学习和加强学习等方式,从数据中学习相应的模

式,用于智能体的构建中。学习也可以通过对周围智能体行为的模仿或者复制的方式进行。另外,遗传算法等也常常被用在基于多智能体的建模和仿真中。

**4. 基于智能体建模**

计算机仿真的建模方法有两种,即基于智能体建模(Agent-based Modeling,ABM)及基于数学方程建模(Equation-based Modeling,EBM)。这两种方法都是通过建立模型的方法对系统进行仿真,并在计算机上运行这些模型。

在基于智能体建模方法中,模型由一组智能体构成,这些智能体仿效了被仿真的真实系统所组成的那些活动实体,智能体封装了这些实体的行为,而且模型的运行就是由这些智能体的行为组成的。

(1) 基于智能体建模,跟传统建模——基于数学方程建模的共同之处有以下几点。

① 进行仿真时需要考察被仿真系统中的个体以及各种可观察的属性。

② 这些个体和可观察属性都处于不断的变化之中。

这里个体是指被观察领域内的有界的活动区域内的个体;可观察属性是指研究者所关注的可以度量的某些特性,可观察属性的值是随时间变化的。建模中可观察属性通过变量代表并赋值。

(2) 基于智能体建模跟传统建模方法的区别也是明显的,有以下几点。

① 基于智能体建模方法关注的内容是系统中个体间发生的交互行为,而不是可观察属性之间的关系。这些行为可能是不同个体之间的直接关系,也可能是许多个体在同一个共同的环境下的间接关系。建模者首先在模型中仿真所有个体的行为,使它们发生松散的交互关系。在模型的运行过程中,建模者会仔细关注那些可观察属性,并衡量它们之间的关系。这些关系是模型运行的结果,而不是建模的起点,是模型的输出而非输入。

② 基于智能体建模方法关注模型的层次水平是自底向上的,而不是自顶向下的。基于智能体建模方法定义且获取这些可观察属性值相关的个体行为,而不依赖于系统级的信息来获取这些可观察属性的值。换句话说,系统一级的可观察属性的演化过程是从基于智能体的模型中涌现出来的,基于智能体的建模者一般不会像基于数学方程的建模者那样将这些系统级的可观察属性作为模型的驱动力量。两者比较如表 3-1 所示。

**表 3-1　基于智能体建模与传统建模方法的比较**

| 基于智能体建模 | 基于数学方程建模 |
|---|---|
| 随机性的 | 确定性的 |
| 自底向上 | 自顶向下 |
| 适应性 Agent | 基于数学方程 |
| 解释能力强 | 不可解释 |

续表

| 基于智能体建模 | 基于数学方程建模 |
|---|---|
| 多参数 | 少量参数 |
| 创建环境 | 预先设定环境 |
| 建模者可以从仿真中学到知识 | 建模者可以对仿真作出反应 |

（撒力，2005）

目前，国外已经形成了众多基于多智能体的仿真平台，比较著名的有 StarLogo、NetLogo、Ascape、Mason、Repast 和 Swarm。其中 Repast 和 Swarm 的编程比较灵活，在科学研究中的应用较为广泛（朱江和伍聪，2005）。AnyLogic 也是应用较为广泛的基于多智能体的仿真平台。

## 3.4.2 元胞自动机

元胞自动机（Cellular Automata，CA）是一时间和空间都离散的动力系统，散布在规则网格中的每一元胞（Cell）取有限的离散状态，遵循同样的作用规则，依据确定的局部规则作同步更新，大量元胞通过简单的相互作用构成动态系统的演化。元胞自动机是用一系列模型构造的规则构成，凡是满足这些规则的模型都可以算作是元胞自动机模型。

### 1. 元胞自动机的设计

元胞自动机是由一些特定规则的格子组成，每个格子看作是一个元胞；每一个元胞可以具有一些状态，但是在某一时刻只能处一种状态之中。随着时间的变化（“迭代”过程），格子上的每一个元胞根据周围元胞的情形，按照相同的法则而改变状态，换句话说，一个元胞的状态是由上一个时刻所围绕的元胞的状态所决定。从人工生命的角度来看，元胞自动机可以视为一个让许多单细胞生物生活的世界，在设定好这个世界的初始状态后开始按照规则演化。

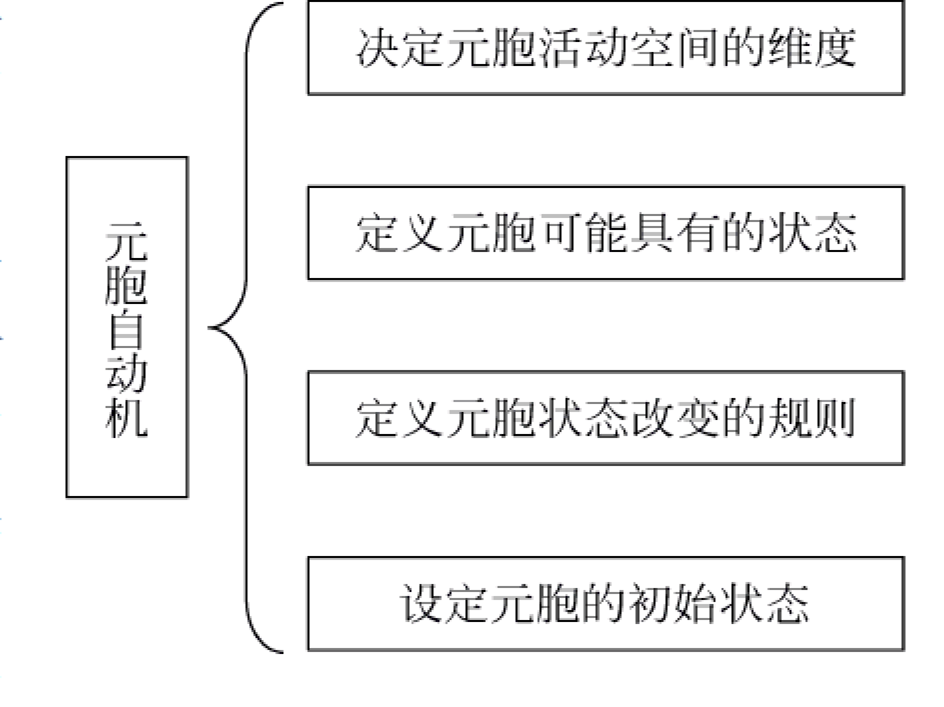



图 3-4　元胞自动机的设计

一般地，设计元胞自动机如图 3-4 所示，需要定义和设定以下参数。

### 2. 元胞自动机的组成

一般地，元胞自动机的组成包括 4 个部分，即元胞（Cell）、元胞空间（Lattice）、邻居（Neighbor）及规则（Rule）。

1）元胞

元胞（Cell）又称为单元或基元，是元胞自动机最基本的组成部分。元胞分布在离散的一维、二维或多维欧几里得空间的晶格点上，具有离散、有限的状态。

状态可以是$\{0,1\}$的二进制形式，或是$\{s_0, s_1, s_2, \cdots, s_i, \cdots, s_k\}$整数形式的离散集。严格意义上讲，元胞自动机的元胞只能有一个状态变量，但在实际应用中，往往将其进行了扩展，如每个元胞可以拥有多个状态变量。

2）元胞空间

元胞所分布的空间网点集合就是元胞空间(Lattice)。元胞空间的几何划分，理论上讲，它可以是任意维数的欧几里得空间划分。目前研究多集中在一维和二维元胞自动机上。

对于一维元胞自动机，元胞空间的划分只有一种。对于高维的元胞自动机，元胞空间的划分则可能有多种形式。例如，最常见的二维元胞自动机，元胞空间通常可按三角、四方或六边形 3 种网格形式排列，如图 3-5 所示。

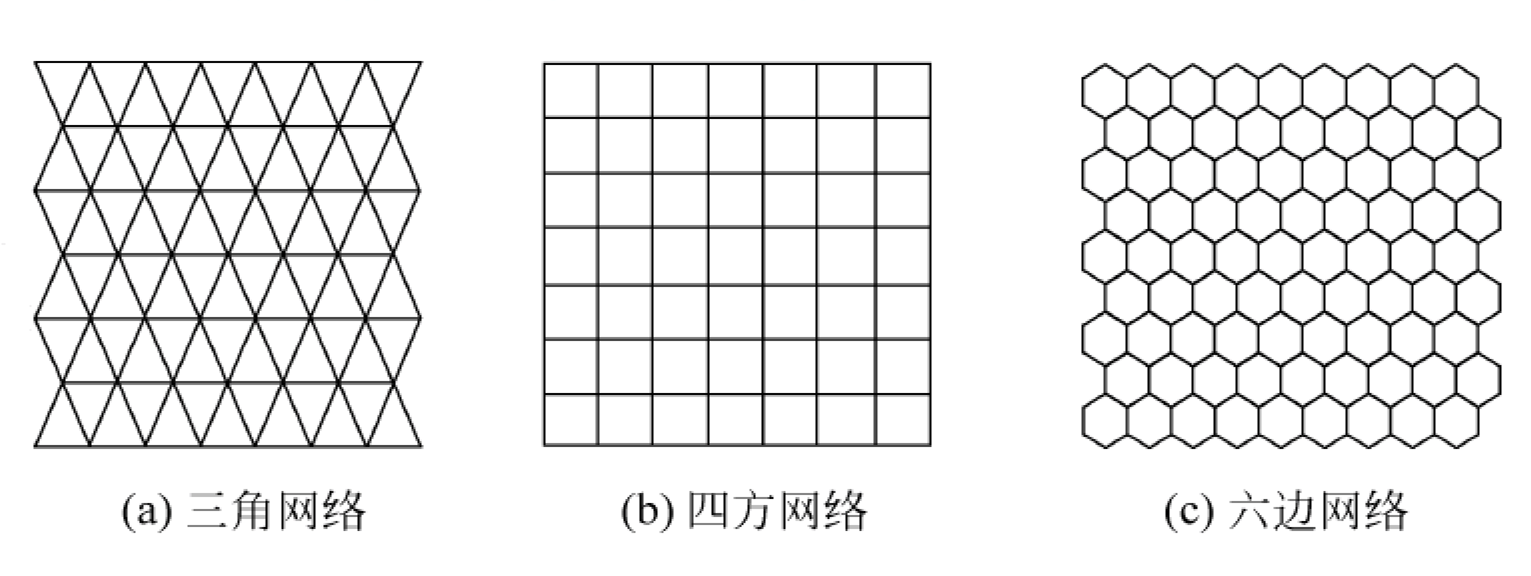



图 3-5　二维元胞自动机元胞空间划分

3）邻居

以上的元胞及元胞空间只表示了系统的静态成分，为将“动态”引入系统，必须加入演化规则。在元胞自动机中，这些规则是定义在空间局部范围内的，即一个元胞下一时刻的状态决定于本身状态和它的邻居(Neighbor)元胞的状态。因而，在制定规则之前，必须定义一定的邻居规则，明确哪些元胞属于该元胞的邻居。通常而言，根据邻居元胞数分为 3 种类型：冯·诺依曼型(von Neumann Model)(邻居数为 4)、摩尔型(Moore Model)(邻居数为 8)、扩展的摩尔型(Expansion Moore Model)(邻居数为 24)，如图 3-6 所示，黑色为中心元胞，灰色为邻居元胞。

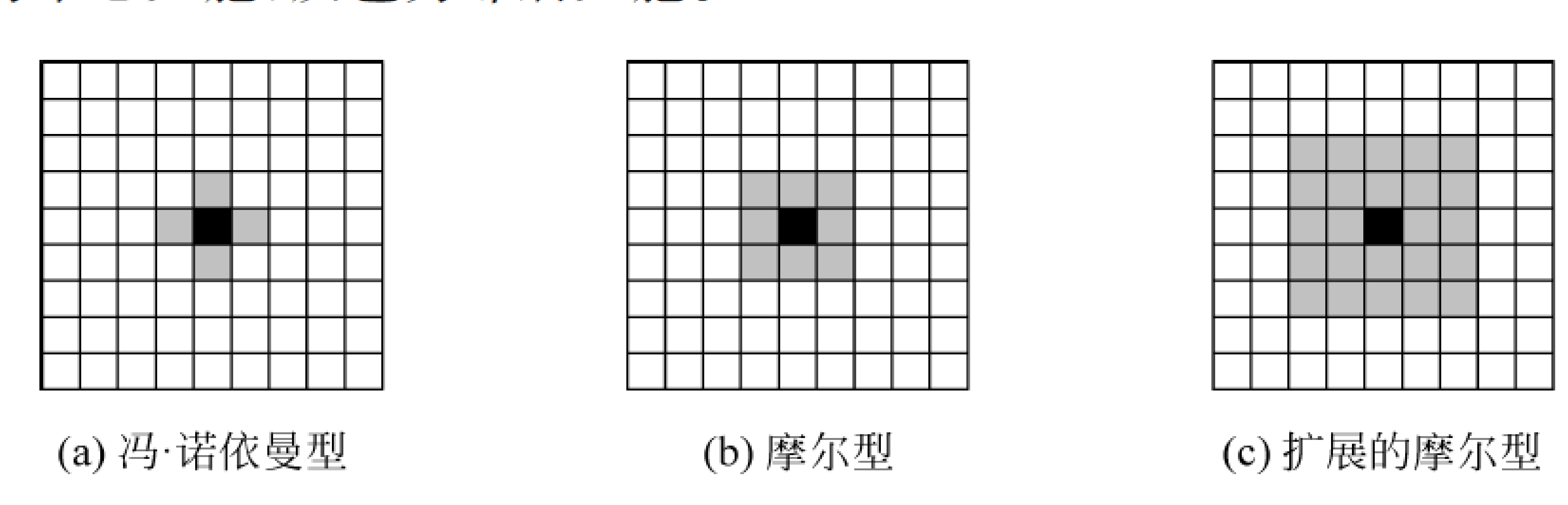



图 3-6　元胞自动机的邻居模型

4）规则

基于元胞当前状态及其邻居状况确定下一时刻该元胞状态的动力学函数，简而言

之，是一个状态转移函数。把一个元胞的所有可能状态以及负责该元胞的状态变换的规则（Rule）汇在一起统称为一个变换函数。这个函数构成了一种简单的、离散的空间或时间范围的局部物理成分。

5）时间

元胞自动机在时间（Time）维上的变化是离散的，因为它是一个动态系统，即时间 $t$ 是一个连续等间距的整数值。假设时间间距 $dt=1$，若 $t=0$ 为初始时刻，则 $t=1$ 为其下一时刻。在此转换函数中，尽管在 $t-1$ 时刻的元胞及其邻居元胞的状态间接（时间上滞后）影响了元胞在 $t+1$ 时刻的状态，但一个元胞在 $t+1$ 的时刻只（直接）决定于 $t$ 时刻的该元胞及其邻居元胞的状态。

**3．元胞自动机的特征**

（1）同质性。同质性反映在元胞空间内的每个元胞的变化都服从相同的规律。

（2）空间离散。

（3）时间离散。系统的演化是按照等间隔时间分步进行的。

（4）状态离散有限。

（5）同步计算（并行性）。各个元胞在时刻 $t_{i+1}$ 的状态变化是独立的行为，相互之间没有任何影响。

（6）时空局部性。每一个元胞的下一时刻 $t_{i+1}$ 的状态，取决于其周围半径为 $r$ 领域中元胞的当前时刻 $t_i$ 的状态。

（7）维数高。在动力系统中一般将变量的个数称为维数。

**4．元胞自动机的应用**

元胞自动机自产生以来，被广泛地应用到社会、经济、军事和科学研究的各个领域，应用领域涉及社会学、生物学、生态学、信息科学、计算机科学、数学、物理学、化学、地理、环境、军事学等。

在社会学中，元胞自动机用于研究经济危机的形成与爆发过程，个人行为的社会性，流行现象，如服装流行色的形成等。在生物学中，元胞自动机的设计思想本身就来源于生物学自繁殖的思想，因而它在生物学上的应用更为自然而广泛。例如，元胞自动机用于肿瘤细胞的增长机理和过程模拟、人类大脑的机理探索、艾滋病病毒 HIV 的感染过程、自组织、自繁殖等生命现象的研究，以及最新流行的克隆技术的研究等。

在生态学中，元胞自动机用于兔子—草、鲨鱼—小鱼等生态动态变化过程的模拟，展示出令人满意的动态效果；元胞自动机还成功地应用于蚂蚁、大雁、鱼类洄游等动物的群体行为的模拟。在信息学中，元胞自动机用于研究信息的保存、传递、扩散的过程。在计算机科学中，元胞自动机可以被看作是并行计算机，而用于并行计算的研究（Wolfram，2002）。另外，元胞自动机还用于计算机图形学的研究中。在数学中，元胞自动机可用来研究数论和并行计算。在物理学中，除了在流体力学上的成功应用，元胞自动机还应用

于磁场、电场等场的模拟以及热扩散、热传导和机械波的模拟。另外，元胞自动机还用来模拟雪花等枝晶的形成。在化学中，元胞自动机可用来通过模拟原子、分子等各种微观粒子在化学反应中的相互作用，而研究化学反应的过程。在军事科学中，元胞自动机模型可用来进行战场的军事作战模拟。

元胞自动机作为一种动态模拟，更多的是作为一种通用性建模的方法，其应用几乎涉及社会和自然科学的各个领域。

### 3.4.3　基于 QSIM 定性仿真

定性仿真（Qualitative Simulation）是相对传统的定量仿真（Quantitative Simulation）而言的，它是系统仿真（System Simulation）的一个分支，是系统仿真与人工智能理论（Artificial Intelligence Theory）交叉产生的新领域。相对于传统的数字仿真，定性仿真有其独到之处：这种仿真能处理多种形式的信息，有推理能力和学习能力，能初步模仿人类思维方式，人机界面更符合人的思维习惯，所得结果更容易理解。

QSIM 算法（Kuipers，1986）基于定性微分方程，是定性推理研究领域最为成熟的理论方法之一。QSIM 算法从一个定性约束集和一个初始状态出发，按照一定的推理规则，得到系统中每一个变量的定性变化方向和变化幅度，预测系统未来所有可能的行为（邵晨曦和白方周，2004）。

**1．基本概念**

基于 QSIM 定性仿真的基本概念，夏功成（2005）归纳如下。

1）可推理函数（Reasonable Function）

Kuipers 用一个实值参数集合来标志一个物理系统，且定义每一个参数为一个随时间变化的实值函数，即

$$f:[a,b]\rightarrow R^*,\quad R^*=[-\infty,+\infty] \tag{3-1}$$

此处的 $R^*$ 与传统意义上的 $R$ 有所不同，这里将∞作为一个特殊的路标值来处理。

在定性仿真中，上述所讨论的实值函数 $f$ 都是可推理函数。对于$[a,b]\in R^*$，当且仅当 $f:[a,b]\rightarrow R^*$ 满足一些条件时，则称 $f$ 为可推理函数，这些条件有以下几个。

① $f$ 在闭区间$[a,b]$上连续。

② $f$ 在开区间$(a,b)$上连续且可微。

③ $f$ 有有限个奇点。

④ 存在$\lim\limits_{t\to a}f'(t)$，$\lim\limits_{t\to b}f'(t)$，且 $f'(a)=\lim\limits_{t\to a}f'(t)$，$f'(b)=\lim\limits_{t\to b}f'(t)$。

2）路标值（Landmark Value）

路标值是指可推理函数 $f$ 在行为上有标志性意义的重要点处的取值，一般每个参数存在多个路标值，它们按照一定顺序组成有序路标值集合。路标值可用数字或符号来表示。路标值用数字来表示时，数字依靠其大小关系表示路标值间的一种顺序关系，而非

表示参数的实际取值。

路标值点的标志性意义指在定性仿真过程中，可推理函数 $f$ 在路标值点处的行为或状态将发生显著性变化或者说质的变化。每个可推理函数 $f$ 都对应着一个有限的有序路标值集合，该集合包括 $f$ 为 0 时的点以及在闭区间 $[a,b]$ 边界上的点 $f(a)$ 和 $f(b)$。Kuipers 规定，随着定性仿真的进行，可以发现和使用新的路标值。各参数的定性状态包括由它与路标值的顺序关系确定的定性值和它的变化方向两部分，参数的定性值或者等于一个路标值，或者在两个路标值之间。

3）显著时间点(Distinguished Time)

在定性仿真中，Kuipers 将时间表达为显著时间点的集合。系统当前的时间，或者是在显著时间点上，或者是在两个显著时间点之间。所有的显著时间点是在定性仿真过程中产生的。设 $f$ 为可推理函数，则 $t$ 成为显著时间点的充分必要条件为 $t\in[a,b]$ 且 $f(t)=x$，其中 $x$ 是 $f$ 的路标值的边界元素，即显著时间点是函数值发生显著性变化的时间点，重要变化是指函数或者通过一个路标值，或者到达一个极限，如 $+\infty$ 或 $-\infty$。

结合路标值的概念可以看到，一个有限的显著时间点集合对应着一个有限的路标值集合，而它们都与一个可推理函数紧密相连，显著时间点集合与路标值集合分别表示为 $T=\{t|t=t_0<t_1<\cdots<t_n\}$，$L=\{l|l=l_0<l_1<\cdots<l_n\}$。

4）约束(Constraint)

QSIM 算法中还有 6 种约束关系，即 ADD、MULT、MINUS、DERIV、$M^+$、$M^-$，分别代表了加、乘、反、微分、单调增和单调减的意思。

**2. 定性状态**

设 $f:[a,b]\to R^*$ 有路标值集合 $L=\{l|l=l_0<l_1<\cdots<l_n\}$，对应有显著时间点集合 $T=\{t|t=t_0<t_1<\cdots<t_n\}$，$t\in[a,b]$，则有以下定义。

如式(3-2)定义 $f$ 在 $t$ 时刻的值，即

$$\text{QVAL}(f,t)=\begin{cases}l_j & (f(t)=l_j)\\(l_j,l_{j+1}) & (f(t)\in(l_j,l_{j+1}))\end{cases}\tag{3-2}$$

如式(3-3)定义 $f$ 在 $t$ 时刻的方向

$$\text{QDIR}(f,t)=\begin{cases}\text{inc} & (f'(t)>0)\\\text{std} & (f'(t)=0)\\\text{dec} & (f'(t)<0)\end{cases}\tag{3-3}$$

如式(3-4)定义 $f$ 在 $t$ 时刻的定性状态

$$\text{QS}(f,t)=<\text{QVAL}(f,t),\text{QDIR}(f,t)>\tag{3-4}$$

其中，$<\text{QVAL}(f,t),\text{QDIR}(f,t)>$ 为二元组。例如，$\text{QS}(\text{Price},t_k)=<(100,120),\text{inc}>$ 表示 $t=t_k$ 时刻某商品价格在 100～120 元/件之间，且正在升高。

### 3. 定性状态转换

定性仿真是通过由当前定性状态产生其后续状态的一个不断推进的过程。参数从一个定性状态转换到另一个定性状态必须遵守介值定理(Intermediate Value)和中值定理(Mean Value Theorems)。

定性状态转换有两类：一类是 $P$ 转换，该类转换是从时间点到时间区间的转换；另一类是 $I$ 转换，从时间区间到时间点的转换。

$P$ 转换为

$$\mathrm{QS}(f,t_i) \rightarrow \mathrm{QS}(f,t_i,t_{i+1})$$

$I$ 转换为

$$\mathrm{QS}(f,t_i,t_{i+1}) \rightarrow \mathrm{QS}(f,t_i)$$

由两种转换组成的通用函数状态转换表如表 3-2 所示。

**表 3-2　通用函数状态转换表**

| $P$ 转换 | $\mathrm{QS}(f,t_i)\rightarrow\mathrm{QS}(f,t_i,t_{i+1})$ | $I$ 转换 | $\mathrm{QS}(f,t_{i-1},t_i)\rightarrow\mathrm{QS}(f,t_i)$ |
|---|---|---|---|
| $P_1$ | $<l_j,\mathrm{std}>\rightarrow<l_j,\mathrm{std}>$ | $I_1$ | $<l_j,\mathrm{std}>\rightarrow<l_j,\mathrm{std}>$ |
| $P_2$ | $<l_j,\mathrm{std}>\rightarrow<(l_j,l_{j+1}),\mathrm{inc}>$ | $I_2$ | $<(l_j,l_{j+1}),\mathrm{inc}>\rightarrow<l_{j+1},\mathrm{std}>$ |
| $P_3$ | $<l_j,\mathrm{std}>\rightarrow<(l_{j-1},l_j),\mathrm{dec}>$ | $I_3$ | $<(l_j,l_{j+1}),\mathrm{inc}>\rightarrow<l_{j+1},\mathrm{inc}>$ |
| $P_4$ | $<l_j,\mathrm{inc}>\rightarrow<(l_j,l_{j+1}),\mathrm{inc}>$ | $I_4$ | $<(l_j,l_{j+1}),\mathrm{inc}>\rightarrow<(l_j,l_{j+1}),\mathrm{inc}>$ |
| $P_5$ | $<(l_j,l_{j+1}),\mathrm{inc}>\rightarrow<(l_j,l_{j+1}),\mathrm{inc}>$ | $I_5$ | $<(l_j,l_{j+1}),\mathrm{dec}>\rightarrow<l_j,\mathrm{std}>$ |
| $P_6$ | $<l_j,\mathrm{dec}>\rightarrow<(l_{j-1},l_j),\mathrm{dec}>$ | $I_6$ | $<(l_j,l_{j+1}),\mathrm{dec}>\rightarrow<l_j,\mathrm{dec}>$ |
| $P_7$ | $<(l_j,l_{j+1}),\mathrm{dec}>\rightarrow<(l_j,l_{j+1}),\mathrm{dec}>$ | $I_7$ | $<(l_j,l_{j+1}),\mathrm{dec}>\rightarrow<(l_j,l_{j+1}),\mathrm{dec}>$ |
| | | $I_8$ | $<(l_j,l_{j+1}),\mathrm{inc}>\rightarrow<l^*,\mathrm{std}>$ |
| | | $I_9$ | $<(l_j,l_{j+1}),\mathrm{dec}>\rightarrow<l^*,\mathrm{std}>$ |

注：其中 $I_8$ 和 $I_9$ 转换发现了新的路标值 $l^*$，$l_j<l^*<l_{j+1}$。　　(胡斌，2006)

### 4. 算法步骤

QSIM 算法是 Kuipers 定性仿真理论的核心，它用定性微分方程来描述物理系统的结构，用定性状态转换及过滤来推导系统行为。在每个方程的初始定性状态给定的前提下，QSIM 首先生成所有可能的后续状态，然后用方程间的定性限制和全局相容规则来删除不相容的或多余的状态组合，如此反复，仿真系统的行为算法步骤如下。

首先将初始状态放入活动状态表中，重复以下步骤至活动状态表为空。

(1) 从活动状态表中取出一个状态作为当前状态。

(2) 根据状态转换表，确定出每一个函数当前状态可能转换到的状态集合。这一步骤称为状态转换。

(3) 约束过滤或者元组过滤。对每一个约束，产生状态转换的二元或三元组集合，根据约束的限定，过滤与约束不一致的元组。主要包括两方面的检验，即定性值的一致性

和变化方向的一致性。

(4) 利用威尔士算法对元组进行配对一致性过滤，即具有相同函数的两个元组，对同一个函数的转换必须一致。

(5) 将经过上述过滤剩余的元组加以组合，通过深度优先遍历元组空间，产生系统状态的全局解释。如果不存在相应的全局解释，则作不一致标记；否则标记它们为当前状态的后续状态。全局解释的目的是把经过过滤剩余的函数转换赋给相应的函数，以产生系统新的状态。如果一个全局解释失败了，则当前状态的所有后续状态被删除，当前状态就是系统的结束状态。

(6) 对新产生的定性状态运用全局过滤法来决定是否将新状态加入活动状态表中，有以下 3 种可能。

① 不动点。如果新的状态和它的直接前驱状态是一致的，删除该状态。

② 循环。如果新的状态和它前驱状态的某个祖先状态一致(所有函数有相同的路标值，所有函数的变化方向一致)，则标记系统行为出现循环，新的状态不加入活动状态表中。

③ 终止点。如果其中有一个函数取值为$\infty$，则当前时间点是区间的终点，新的状态不加入活动状态表中。

## 3.5 本章小结

本章对人工社会、复杂适应系统和社会仿真进行了论述。从人工生命到人工社会，再到人工网络(社会网络)，都落脚在社会仿真。Agent 最早是用于人工智能研究的，后来被人工社会、复杂适应系统用来作为核心方法，与计算机仿真都有交叉。Agent 的研究也从单个到多 Agent 系统。人工社会和复杂适应系统等复杂问题的研究都需要采用社会仿真，从建模抽象到仿真分析多个阶段，通过涌现的宏观结果找到人工社会的行为规律，达到解决或解释真实社会的实际问题的目的。

PART 2

# 第 2 篇 案例应用篇

第 4 章　高校教师工作压力模型与调查研究
第 5 章　高校教师工作压力扩散研究
第 6 章　高校工作压力对教师群体行为影响的研究
第 7 章　高校工作压力对工作绩效影响的研究
第 8 章　高校教师工作压力管理与对策研究
第 9 章　复杂网络上的 A(H1N1)型流感传播模型研究

CHAPTER 4

# 第4章 高校教师工作压力模型与调查研究

## 4.1 引言

据《东方早报》2005年8月9日报道，从萧亮中、焦连伟、高文焕再到何勇，在短短的几个月时间里，我国高校年轻的学术精英相继倒下。他们逝世的原因惊人地相似，都是长期的超负荷工作、心理和生活压力或由于工作而错过疾病治疗的最佳时期。作为高校教师，我第一次关注“工作压力”，在对“英年早逝”悲剧的震撼之余，觉得有必要为高校教师做点什么。其实只要组织或个体对工作压力稍有了解，学习压力管理的基本策略，对生命不是这样淡漠，这一切可能不会发生。

本章介绍了工作压力的基本理论。先归纳、总结了工作压力的概念，包括压力、工作压力、教师工作压力。工作压力是指个人与环境间的特殊关系，它强调的是一个过程，当环境要求超过个人能力及其可用资源，并且危及其心理平衡与生活步调的和谐与完整性时所产生的压力症状，它是人与环境相互作用的结果，主要包括3个方面，即压力源、中介变量和压力反应。其次了解工作压力要素，特别分析了教师压力源。最后介绍了4个经典的工作压力模型。

在总结前人模型的基础上，笔者在4.2节建立了自己的工作压力模型。接着以湖北省某理工类高校的实证研究为例，分析了我国高校教师的工作压力现状、压力表征、工作压力带来的负面影响及工作压力产生原因。最后对本章进行了小结。

## 4.2 关于工作压力的研究

### 4.2.1 工作压力相关概念

#### 1. 压力

压力(Stress)的概念最早是由加拿大 Montreal 大学国际压力研究所主任汉斯·塞尔耶(Hans Selye)在 20 世纪 30 年代提出的,他被公认为“压力之父”。“Stress”来自于拉丁文“Stringere”,也译为“应激”“紧张”“负荷”等。Selye 提出压力概念之后,全球许多学科领域如医学、心理学、教育学、行为学、社会学等专家将关注的目光投入到这个问题上,从不同的角度用不同的方法研究压力。按照研究者不同的学科领域,可将压力的定义分为以下三大流派。

1)压力反应流派

压力反应流派是代表人物汉斯·塞尔耶(Hans Selye)于 1956 年提出的,该流派是一种生理医学的压力观。塞尔耶在他的著作《生活的压力》(*The Stress of Life*)一书中把个体的紧张反应称为压力(Stress),把引起这种紧张反应的刺激称为压力源(Stressor),他强调机体或心理对刺激反应的生理、心理状态。塞尔耶认为,“压力不仅仅是紧张情绪”,而且是“人体对需要的不确定的适应性反应”。塞尔耶将这种适应性反应称为“一般适应综合征”(General Adaptation Syndrome,GAS),是人体面对压力源刺激的全身性、非特异性反应;涉及身体的各个系统,主要是神经内分泌系统的反应;分为 3 个阶段,即紧张期阶段(Alarm Stage)、抵抗期阶段(Resistant Stage)、耗竭期阶段(Exhaustion Stage)。GAS 的特点:①每个人由于遗传、种族、个性等特点,都有一个相对固定的系统或器官而应对压力;②压力与疾病密切相关。压力反应理论运用生理参量(如神经内分泌、呼吸模式、肌肉紧张度、代谢情况等)进行压力测量,比心理变量更客观、可信和有效,依据生理系统的变化研究压力与心理健康的关系。

2)压力刺激流派

压力刺激流派是代表人物霍尔姆斯(Holmes)和雷赫(Rahe)于 1967 年提出的,该流派是一种生物物理学的压力观,强调社会或物理环境的变化对个人的影响。在研究中压力可以看作是环境刺激的函数。压力刺激理论的提出,极大地推动了众多学者对压力源的研究。霍尔姆斯和雷赫编制了“社会再适应评定量表”,可以测量环境事件对身体心理健康的影响。压力源模型加深了大家对社会、心理刺激与疾病关系的认识,从而推动了医学的发展。压力刺激理论对于大家根据环境事件预测患病可能性并及早进行预防和干预具有重要的现实意义。

3)认知交互流派

认知交互流派是典型代表人物拉扎罗斯(Lazarus)和福克曼(Folkman)等人于 1976

年提出的，该流派才是心理学的压力观。认知交互理论结合了反应和刺激理论、主观和客观认知，强调个体与环境的关系，特别突现主观认知对于客观刺激反应的交互性、重要性。这种理论构建了认知—现象学—相互作用模型（Cognitive-Phenomenological-Transactional Model），使得压力及其应对中的心理和行为过程获得更深刻的描述。

综上归纳可得，压力是个体对作用于自身的内外环境刺激做出认知评价后引起的一系列身心反应的过程。压力的动态过程包含 3 个环节：①刺激，自变量，研究引起压力反应的刺激物的特点，以控制压力；②认知评价，插入变量，研究刺激与反应的心理中介因素；③反应，因变量，研究人体在压力下的身心反应。

**2. 工作压力**

工作压力又称职业压力（Job Stress，Occupational Stress），是压力研究的一个重要分支。自 20 世纪五六十年代以来，人文精神在管理中得到普遍提倡，工作压力也在社会学、组织行为学、教育学、心理学等学科领域得到交叉研究。对于一些高压职业，组织（如企业或学校）付出较大的医疗费用，但是对较低的工作效率和消极的工作态度无能为力，由于长期处在高压的工作环境中，不可避免地引起工作者的不满、缺勤等问题。

对于工作压力的定义，自 20 世纪 70 年代后，许多学者有不同的观点。如快克强调工作压力是在受到压力源刺激而调动自身能力进行应对；开普兰等指出具体的工作压力，如工作负荷、工作复杂性、角色冲突、角色模糊等；撒麦斯等描述工作压力是对不正常生活方式体验的感觉；赖斯更说明工作压力是超过其承受能力。

综上所述，工作压力指个人与环境之间的一种特殊关系，当环境要求超过个人能力及可利用的资源时，并危及其心理平衡与工作生活步调的和谐与完整性时产生的压力症状。

在这里工作压力被强调是一个过程，是人与环境相互作用的产物，主要包括压力源、中介变量和压力反应。在这种意义上，工作压力就是人在工作情境中许多内外在变相与个人因素交互作用所产生的压力症状。

工作压力有广义和狭义之分。广义的工作压力包含个体在工作情境中体验到的压力和来自工作场所之外的对工作产生影响的压力，狭义的工作压力仅指工作情境中的压力。本书取广义工作压力定义。

**3. 教师工作压力**

早在 20 世纪 70 年代，就开始了教师压力的研究。英国教育学者剑桥大学的基里亚科（Kyriacou）和萨克利弗（Sutcliffe）率先在《教育评论》（*Education Review*）上发表了一篇关于教师压力的研究性论文。在该论文中，作者探讨了教师压力的定义。他们将教师压力定义为“教师的一种不愉快的、消极的情绪经历，如生气、焦虑、紧张、沮丧或失落，这些均是由教师职业这一工作引起的”。

在接下来的研究中，关于教师工作压力的定义可谓百家争鸣。例如，有些研究者用术语“压力”来指个人产生的压力和要求的程度，并且用术语“紧张”来指这种压力的反

映；有些研究者按照个体的要求及其应对这一要求的能力的不协调程度给出压力的定义。另外，很多研究者也已关注教师"累垮"的见解，这种亚健康状态如果不能有效缓解就会蔓延。

综观国内外有关教师工作压力的研究，如表 1.2 所示，其定义跟工作压力相似，存在广义和狭义之分：教师工作压力是教师在学校教学、科研情境下的压力，还是包括学校教学、科研情境在内的，一切发生在教师身上的压力。前者特定于教学、科研情境，后者不局限特定情境而指向教师群体。本书取广义观点，即认为教师工作压力是教师个体因教师这一职业所赋予的职业要求等而产生的压力，它不一定局限于教学、科研情境。如教师角色的社会期望的多重性使教师承受着相当程度的压力。

## 4.2.2　工作压力要素

通过文献综述，工作压力要素如图 4-1 所示，包括 3 个部分，即工作压力源、工作压力缓冲变量以及工作压力反应。

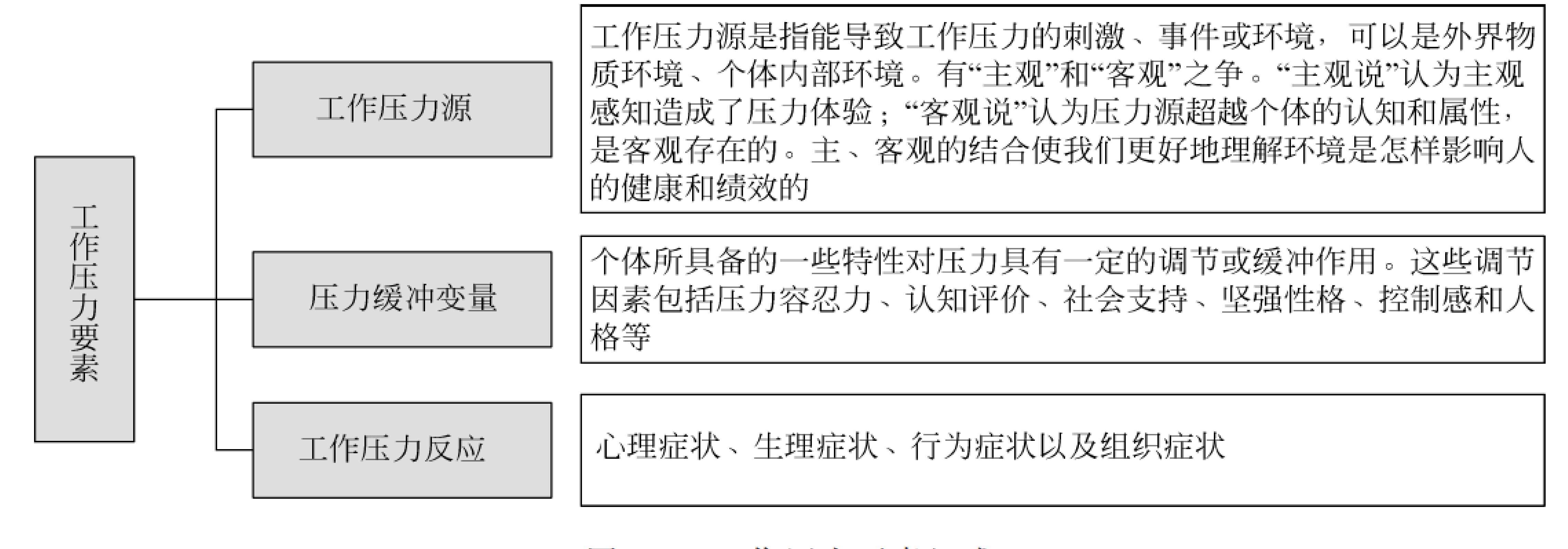



图 4-1　工作压力要素组成

## 4.2.3　工作压力模型

### 1．Karasek 的 JDC 模型（1979）

1979 年 Karasek 提出了工作要求—控制（决策）（Job Demands-Control/Decision Latitude，JDC）模型。JDC 模型主要关注工作情境中两种特征，即工作要求和工作控制。工作要求往往被定义为心理压力源，指工作负荷，如工作强度、工作时间、角色冲突、角色模糊；工作控制其实就是一种压力管理，JDC 模型如图 4-2 所示。

### 2．Cooper、Sloan 和 Williams 的 OSI 模型（1988）

1988 年 Cooper、Sloan 和 Williams 提出了著名的工作压力指标（Occupational Stress Indicator，OSI）模型，首次建立了工作压力指标体系，其基本框架如图 4-3 所示。该指标体系分为三类变量，从七个方面全方位地衡量了工作压力状况。该模型可以为组织提供对于工作压力的结构化认识框架以及一系列的测度量表。

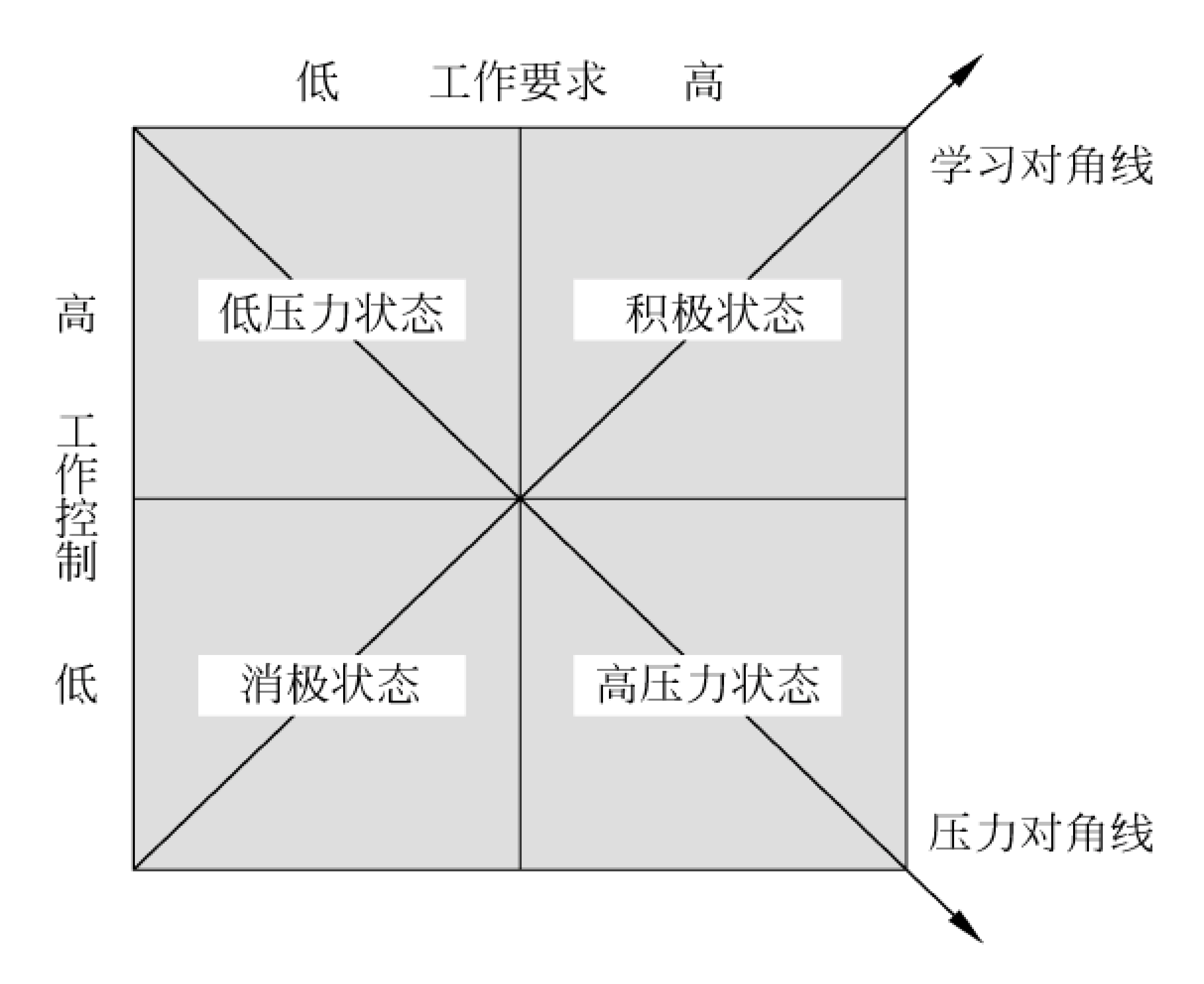



图 4-2　Karasek 的 JDC 模型

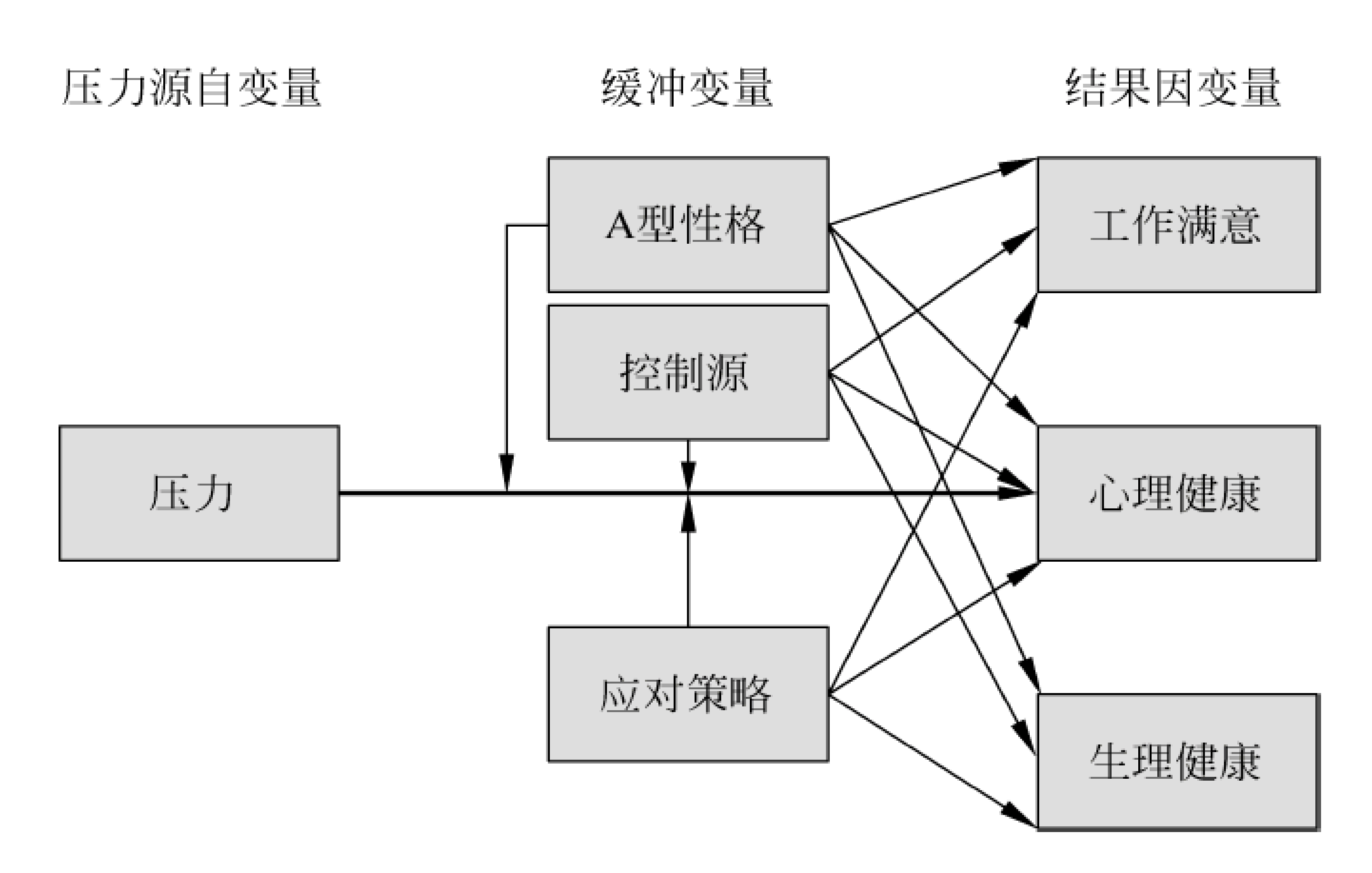



图 4-3　Cooper、Sloan 和 Williams 的 OSI 模型

### 3. Johnson 等的 JDCS 模型(1989)

1989 年 Johnson 和 Hall 将社会支持(Social Support)维度添加到 JDC 模型中,构建了工作要求—控制—支持(Job Demands-Control-Social Support,JDCS)模型。模型如图 4-4 所示。

由图 4-4 可知,该模型分为三维,即工作要求、工作控制和社会支持。高的工作要求,加上低的工作控制,加上低的社会支持,必然是高压力的工作。而高的工作需求,加上高的工作控制,加上高的社会支持,呈现集体积极的状态。

### 4. Robbins 的工作压力模型(1997)

1997 年 Robbins 建立了压力源—压力体验—压力结果模型(Stressor-Stress experience-Stress Effect Model),该模型明确指出潜在的压力源包含环境、组织和个人 3 个方面,至于这 3 个方面的因素是否会导致现实压力感,是由个体差异决定的。如工作经验与个人的认知等。压力结果包括生理症状、心理症状、行为症状。模型如图 4-5 所示。

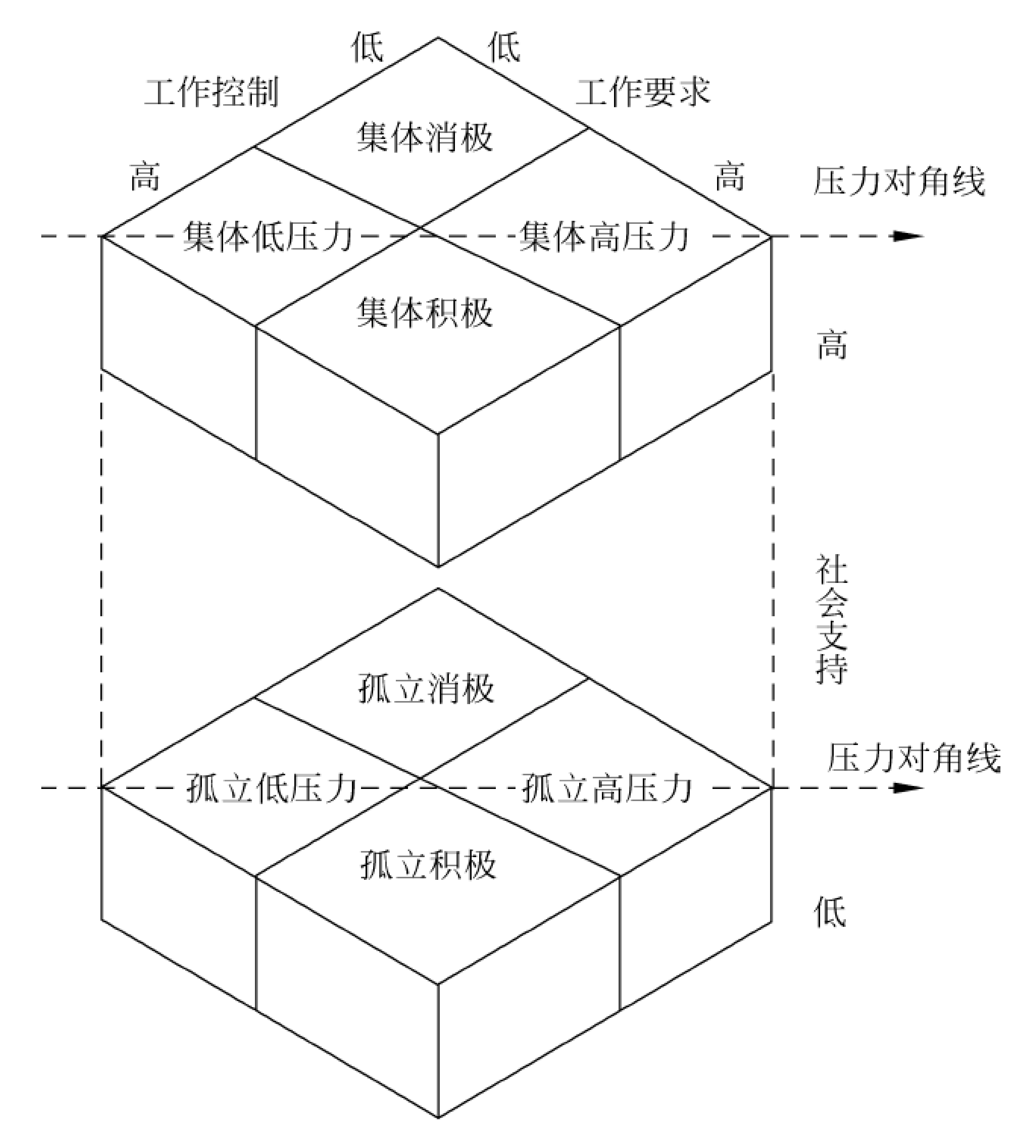



图 4-4　Johnson 和 Hall 的 JDCS 模型

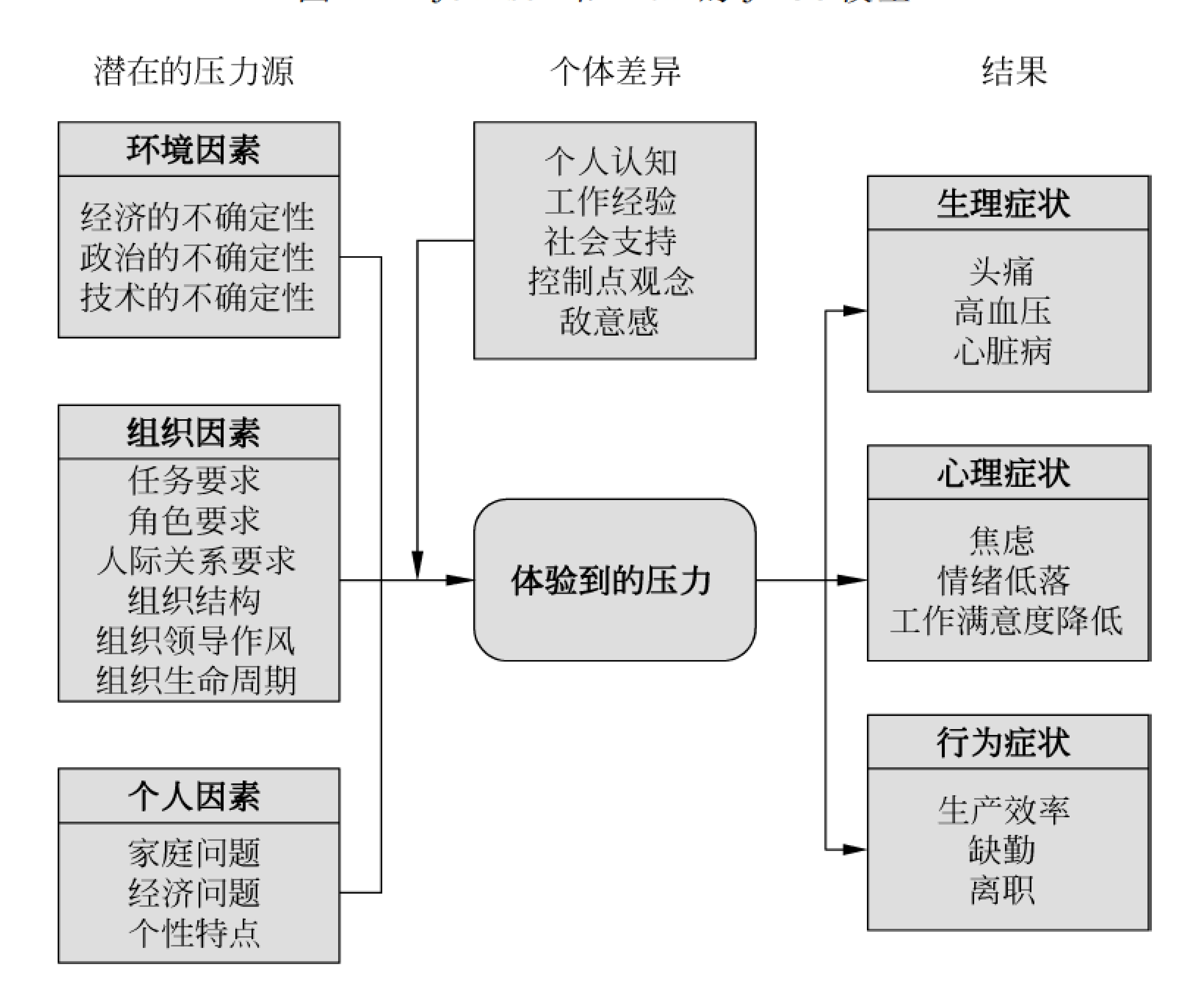



图 4-5　Robbins 的压力源—压力体验—压力结果模型

## 4.3　桶状工作压力模型

综合绪论中的工作压力模型，建立桶状工作压力模型，如图 4-6 所示。

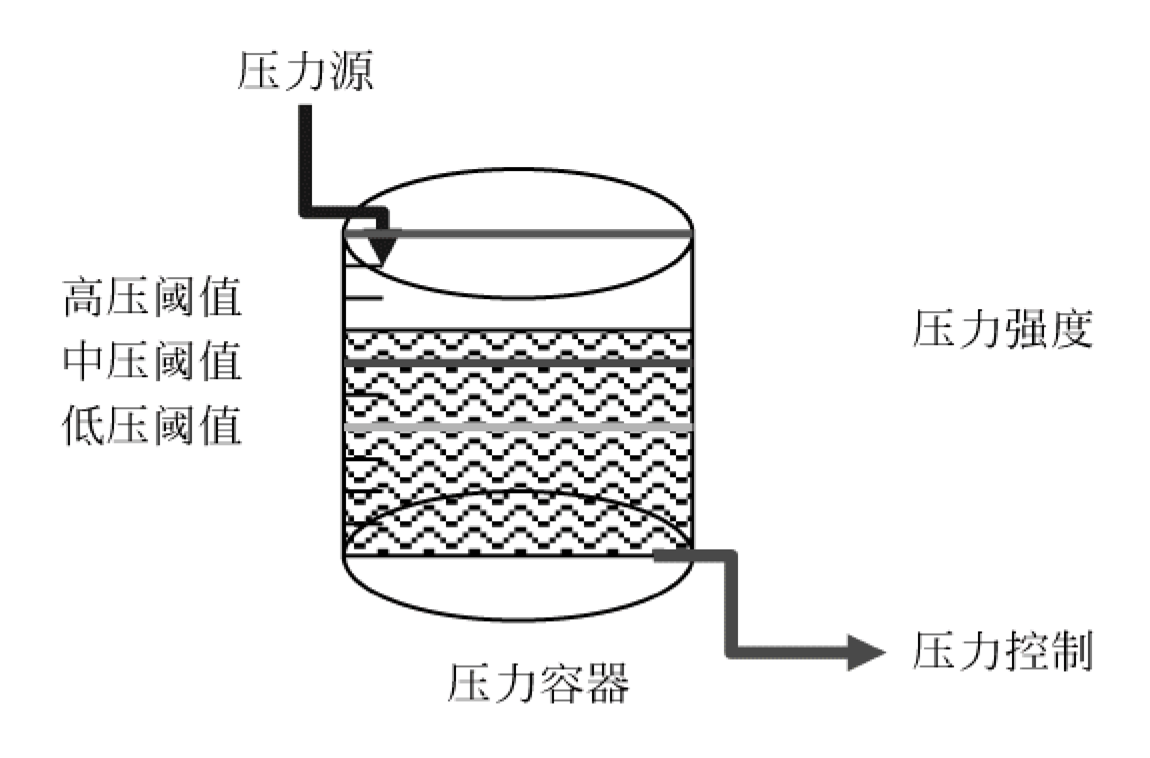



图 4-6　桶状工作压力模型

桶状工作压力模型包括压力源、压力控制—压力容器—压力强度—压力反应。压力源(Stressor)是产生工作压力的来源，是多层面的，有组织层面、个人层面和环境层面，如表 4-1 所示。关于组织因素，Kahn 和 Byosiere(1982)在总结以往研究的基础上，将工作压力的组织因素归为两大类(林伟，2006)。一类与任务内容有关，如任务的简单和复杂、多样和单调及工作环境的物理条件等。另一类与角色特点有关，如角色模糊(Role Ambiguity)和角色过荷(Role Overload)。默顿提出角色冲突(Role Confliction)，指个体体验到不能调和同一时间来自于环境。角色模糊指个体所觉察到的环境的不确定性。角色模糊和角色冲突构成个体角色认知的两个因素，这两个因素对工作压力有重要影响。O'Driscoll(2001)等也对角色冲突和角色模糊对压力的影响进行了实证研究，指出角色冲突和角色模糊对工作压力有重要影响。

**表 4-1　压力源**

| | |
|---|---|
| 组织因素 | 任务要求；角色要求；工作过载或欠载；领导风格；组织变革；组织结构；组织生命周期；工作环境；沟通障碍；文化整合 |
| 个人因素 | 人际关系；个性特征；个人能力；个人期望；生活工作经历；经济状况；家庭问题；健康状况 |
| 环境因素 | 经济的不确定性；政治的不确定性；技术的不确定性 |

压力控制(Stress Control)，又称为压力管理，指为减少压力强度而采取的措施，包括个体控制、组织控制和社会支持。

个体和组织层面的压力源与压力控制，会使个体和组织达到合适的压力强度，有利于个体和组织的发展。好比水库，压力源是上游的水源，压力控制是水闸放水，水库适量蓄水是最有利的状态，水量太少或太多都不利于水库的正常运作。

压力容器反映出压力承受能力的个体差异，与个体的意志、毅力、耐力、乐观等有关。如三峡水库，决定其较大的容量和抗压强度。压力强度(Stress Intensity)(李虹，2005)，确定时间段在压力源和压力控制的互动作用下达到平衡时的压力值，个体 $i$ 的压力强度记为 $C_i$，可以是个比值。压力强度是压力的测量值，是动态的、和时间相关的，一般在一定范围内波动，如水库的水位高度，可起到预警效果。

压力反应与 Robbins 模型的压力结果相同，也分为生理、心理和行为反应，比如当水库的水量超过其上限时，将有溃堤的风险，如果个体有个性缺陷，也会发生短板效应。

本模型有 3 个阈值，即高压阈值、中压阈值和低压阈值。高压阈值为 0.9，工作压力强度超过该值，个体表现为重压状态，严重的将出现心理和生理问题；中压阈值为 0.6，代表 Yerkes 和 Dodson 的工作压力与工作绩效倒 U 形关系图中的压力强度最适点，高压阈值与中压阈值之间的个体表现为高压状态；低压阈值为 0.4，中压阈值与低压阈值之间的个体表现为中压状态，工作压力强度小于低压阈值，代表个体处在低压力源和低工作控制状态，表现为低压力、工作消极。

## 4.4 高校教师工作压力现状调查

为了解我国高校教师工作压力现状，本书选择湖北省某理工类高校采用问卷调查测量模式，参考了《大学教师工作压力量表》。

首先进行问卷调查，然后进行数据分析和统计。

**1. 问卷调查**

笔者于 2008 年 9 月至 2009 年 1 月先后在湖北省某理工类高等学校计算机学院、数理学院、机电工程学院、电气与电子信息工程学院、外语学院、艺术学院、医学院、环境科学与工程学院、师范学院等十多个学院发放问卷，总计 350 份，收回问卷 284 份，其中有效问卷 261 份。

问卷内容分为 3 个部分，分别为高校教师基本信息、工作压力测量、教师对缓解压力的建议。

1）教师基本信息

本书以省属本科院校的教师为调查对象，研究其工作压力。该本科院校的专职教师主要从事教学和科研工作，测量其工作压力，得到高校教师工作压力现状，继而整理压力带来的负面影响，并分析其主要压力源。调查专职教师分为教师序列的教授、副教授、讲师、助教以及工程序列的工程师 5 个部分。表 4-2 统计了某高校教师的基本情况。

2）调查结果统计

调查结果统计见表 4-3。

调查内容见附录，其问题如表 4-4 所示。

**表 4-2　某高校教师的基本情况**

| 职称 | 人数 | 年　龄　段 | | | 学　　历 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 30 以下 | 31～40 | 41～55 | 学士 | 硕士 | 博士 |
| 教授 | 35 | 0 | 2 | 30 | 0 | 9 | 26 |
| 副教授 | 72 | 0 | 32 | 37 | 3 | 40 | 29 |
| 讲师 | 61 | 33 | 24 | 1 | 4 | 51 | 6 |
| 助教 | 23 | 23 | 0 | 0 | 2 | 21 | 0 |
| 工程师 | 20 | 2 | 12 | 6 | 14 | 4 | 2 |

**表 4-3　调查结果统计**

| 职称 | 问　　题 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 教授 | 19 | 34 | 14 | 8 | 18 | 20 | 8 | 14 | 10 | 10 |
| 副教授 | 24 | 52 | 25 | 20 | 15 | 22 | 24 | 24 | 10 | 14 |
| 讲师 | 12 | 66 | 10 | 16 | 12 | 20 | 30 | 22 | 16 | 10 |
| 助教 | 6 | 26 | 9 | 8 | 2 | 8 | 8 | 4 | 4 | 4 |
| 工程师 | 2 | 12 | 0 | 2 | 4 | 6 | 6 | 6 | 2 | 2 |

**表 4-4　部分问题对照表**

| 序号 | 问　　题 |
|---|---|
| 5 | 不容易入睡，睡不好 |
| 16 | 8 小时之外，仍然加班工作 |
| 17 | 为人际关系担心 |
| 18 | 对未来的职业发展感到迷茫 |
| 19 | 当您的工作业绩未被恰当评价时，感到气愤，想不通 |
| 20 | 觉得在当前聘期内，科研要求过高，难以达到 |
| 21 | 职称评聘要求高、比例小、竞争激烈，担心自己评不上而寝食难安 |
| 22 | 知识更新加速，需要不断学习，不断进修，这对自己是个负担 |
| 23 | 面临新一轮评聘时感到很紧张 |
| 24 | 不满意现在的工作，如果可以再次择业，不愿意继续从事教师职业 |

### 2. 压力现状与压力源

第二部分有 24 个问题，每个问题对应 5 个选项（A、B、C、D、E）。选项 A 代表“没有”；选项 B 代表“很少时间有”；选项 C 代表“小部分时间有”；选项 D 代表“相当多的时间有”；选项 E 代表“绝大部分的时间有”。横轴代表选项，纵轴代表人数。

1）业绩评估与压力

对于问题“当您的工作业绩未被恰当地评价时，感到气愤，想不通”，由图 4-7 显示，选

D的人数达到了47人之多，约占总人数的29.4%；选择E的教师约占6.8%，表明这部分高校教师感到气愤的原因大部分是因为自己的工作业绩未被恰当评估。由此可以看出，约36.2%的高校教师的压力来源主要是工作业绩评估。所以说，不恰当的业绩评估是导致高校教师产生压力的主要原因之一。

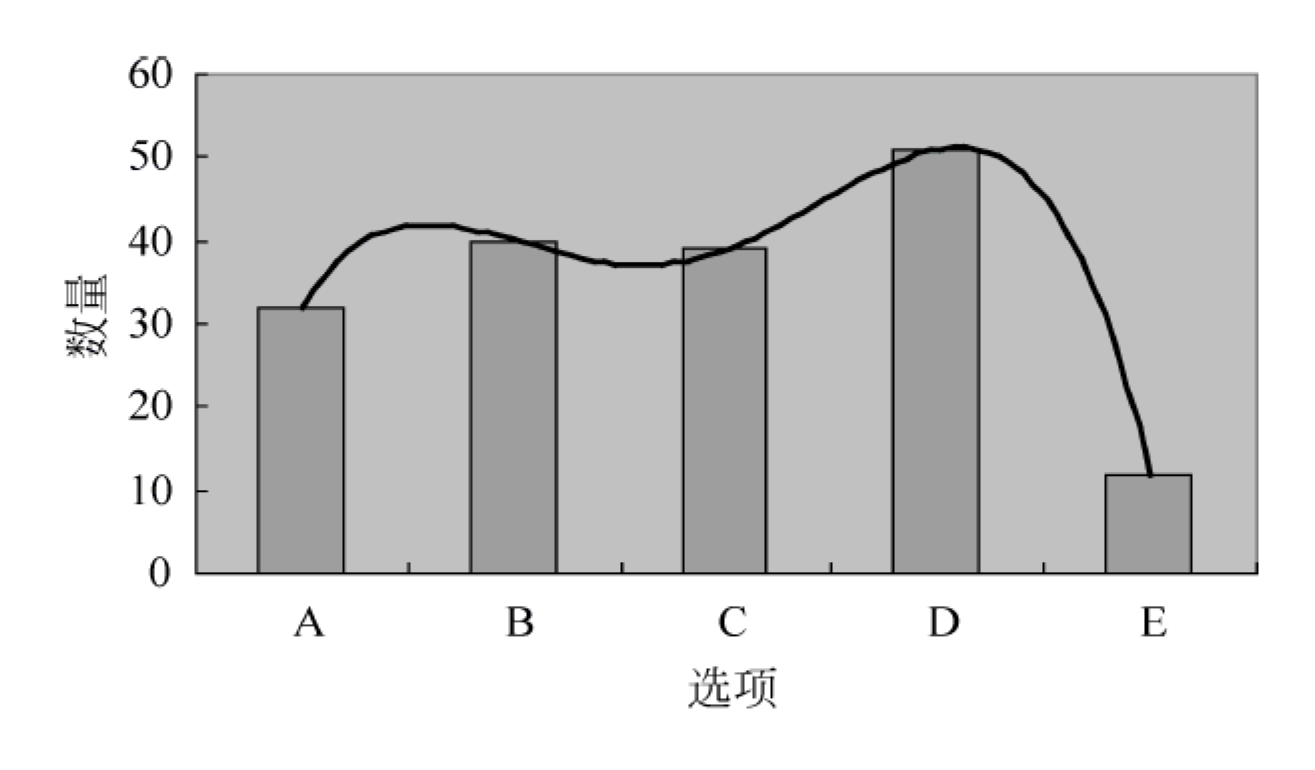



图4-7　业绩评估与压力

高校管理部门通常以考核的形式来对教师的业绩进行评估。高校教师考核不仅仅是高校日常性的人事管理，更是高校教师专业技术职务聘任和职称评定的基础和依据。考核是聘任制的主要内容。考核体系的完善与发展，可以提高教师的积极性，有助于激励教师充实自己的知识，提升自己的专业水平，做出更好的工作业绩；同时也有助于学校发现人才、使用人才，使"人尽其才"。但是，我国高校教师聘任制的实施正处在改革探索阶段，在高校人事制度改革初期，我国教师聘任制还未完善，考核机制还不健全。例如，不能按照岗位职责的要求来评估教师，做不到因"岗"而评，考核具有一定的片面性；同时考核的内容主要是教学和科研，而且也要求教师两样都要"抓"，两样都要好。使得考核变得"一刀切"。并且在考核中常常使用"量化"的措施，但教学除了工作量外，对教学水平和质量的评定往往缺少科学的量化标准，容易被上级领导忽略。在这种情况下，业绩考核削弱了一部分教师的积极性，使其产生消极情绪，进而产生负面压力。由图4-7可以看出，选择D和E的为61人，其中教授18人、副教授15人、讲师12人、助教2人、工程师4人。由此可见，教授在这一问题中选D人数最多，换句话说，教授中有18人对于自己的工作业绩评价不当而产生情绪。为什么会出现这种现象？笔者认为，聘任制对教授的影响最大。以前教授是终身制的，教师一日为教授，终生为教授，不管自己被评得好坏，都是不会被解雇的，因为学校是没有权利解雇教授的。当然，除非教授犯了特大的错，或教授自己辞职，否则，教授永远是教授，工作的好坏对他来说都一样！而现在实施聘任制后，教授和教师是一样的，都要面临学校的考核，教师考核不过关会下岗，教授不过关也照样可能被解聘。而学校的考核标准主要是从教学和科研两个方面来考查，尤其是科研能力。因此，部分教授平时注重科研的同时可能会忽略教学，或者是重大科研成果可能

短期内很难获得显现,这些都可能导致考核的失利,甚至会被解聘下岗。

2）科研要求与压力

对于问题“觉得在当前聘期内,科研要求过高,难以达到”,从图 4-8 可以看出,选 D 的人数约占总数的 28.4%,达 77 人之多。选 E 的有 16 人,约为 13.4%。而选 D 和 E 的人总共占 41.8%。从调查中可以看出,对高校教师过高的科研要求是导致其产生压力的主要原因。

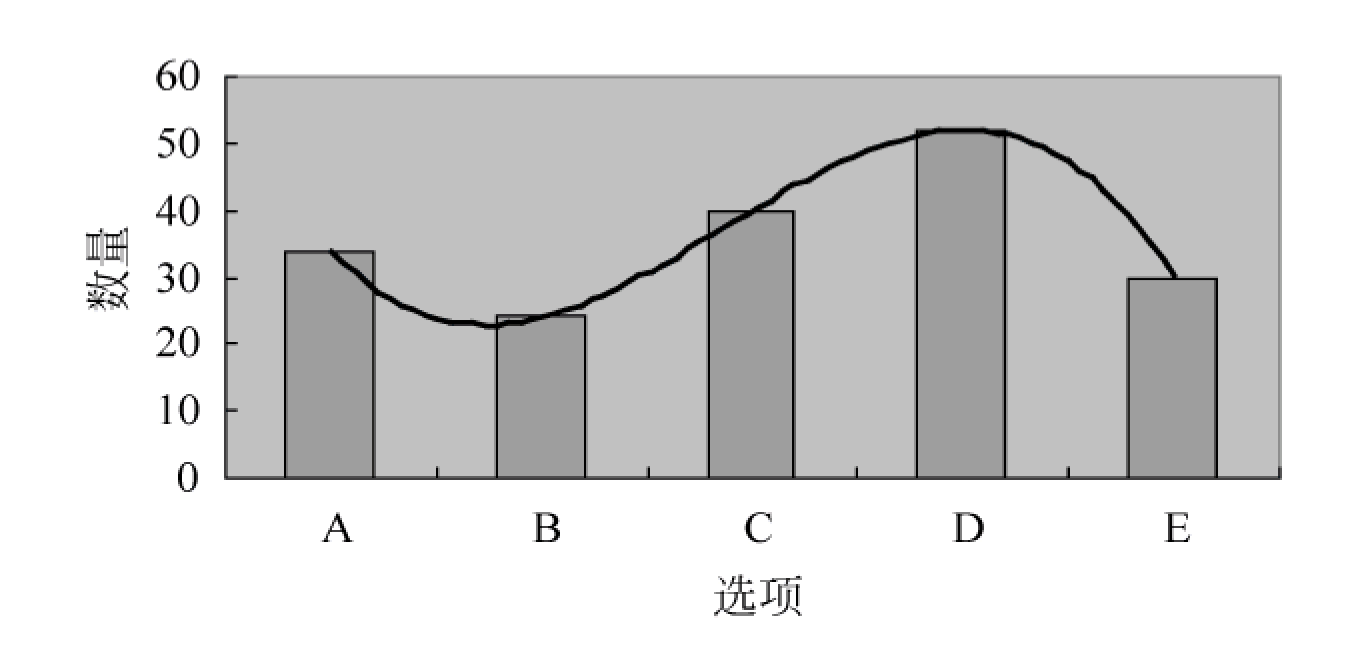



图 4-8　科研要求与压力

目前,在教师聘任制度下,一般对高校教师的评估重点是科研能力和教学能力,尤其是科研能力。采取适当的评价措施固然可以激励高校教师在搞好教学的同时注重科学研究,提升知识的研究和转化能力,促使教师提高其自身的钻研和创新能力。但是,它也存在着不利的一面。过高的评估要求会对教师产生巨大的压力,不但会危害他们的健康,导致工作效率的降低,还会对整个教育界产生恶劣的影响。因为科研是一项长期、艰巨的工作,需要投入大量的时间和精力,是一个厚积薄发的过程,有时候科研成果难以在短期内获得呈现,而单以科研成果的多少来评价教师是不科学的,过重的科研要求只会给教师带来沉重的负担和压力。适当的压力才能有效地调动教师的工作积极性。

3）职称评聘与压力

对于职称评聘的压力问题,由图 4-9 可以看出,在 5 个选项中,D 选项人数最多,约 37.41%的人选 D,而选 E 的约为 8.32%。从中可以看出,对高校教师压力带来重大影响的是职称的评聘。这主要是因为高校中的职称评定要求高、概率小、工资待遇与职称紧密挂钩等诸多因素导致教师对职称评定的过度关注和忧虑,从而产生过大的压力。

相比而言,美国的教师管理采取的是“非升即走”的淘汰制,也就是说,教师的聘用合同是有期限的,当到期后,有专门的委员会对其作一系列的评估,如教学效果评估、科研能力评估、论文著作评估及其服务质量的评估,如果不合格就要被解聘离职了。新聘助理教授在5～6 年内还不能升为副教授,也必须自动辞职。虽然很多高校没有这方面的规定,但是职称对教师来说也是特别重要的,尤其对高校教师来说,它代表了教师的能力和学校的认可。但是职称评估中竞争是很残酷的,被评上的比例相当小。所以,担心自己

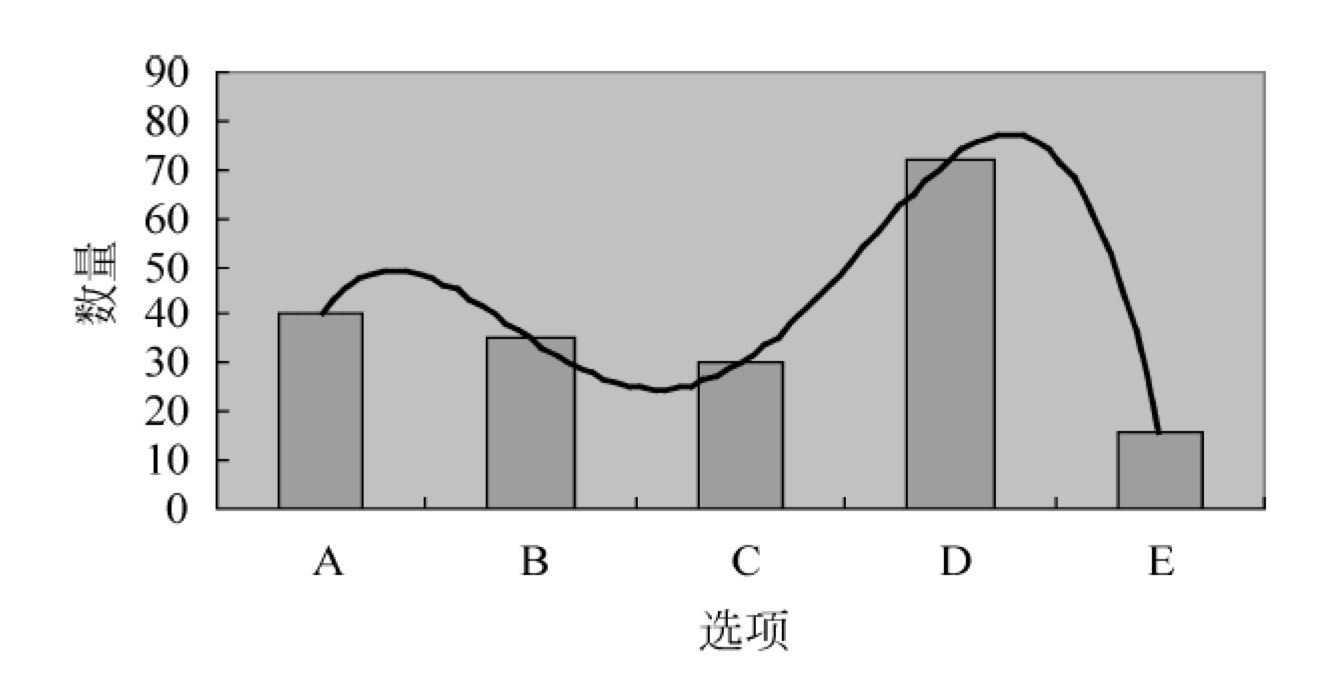



图 4-9 职称评聘与压力

评不上也会给教师带来压力。

4）知识更新与压力

对于问题“知识更新加速，需要不断学习，不断进修，这对自己是个负担”，图 4-10 显示，33.8％的人选 D，人数最多。选 E 的约有 17.6％。可以看到，大学中，教师因为知识更新很快而不得不去继续进修学习，这一因素也导致了约 51.5％教师产生了很大的压力，简而言之，高校教师产生压力的原因之一还包括过快的知识更新。

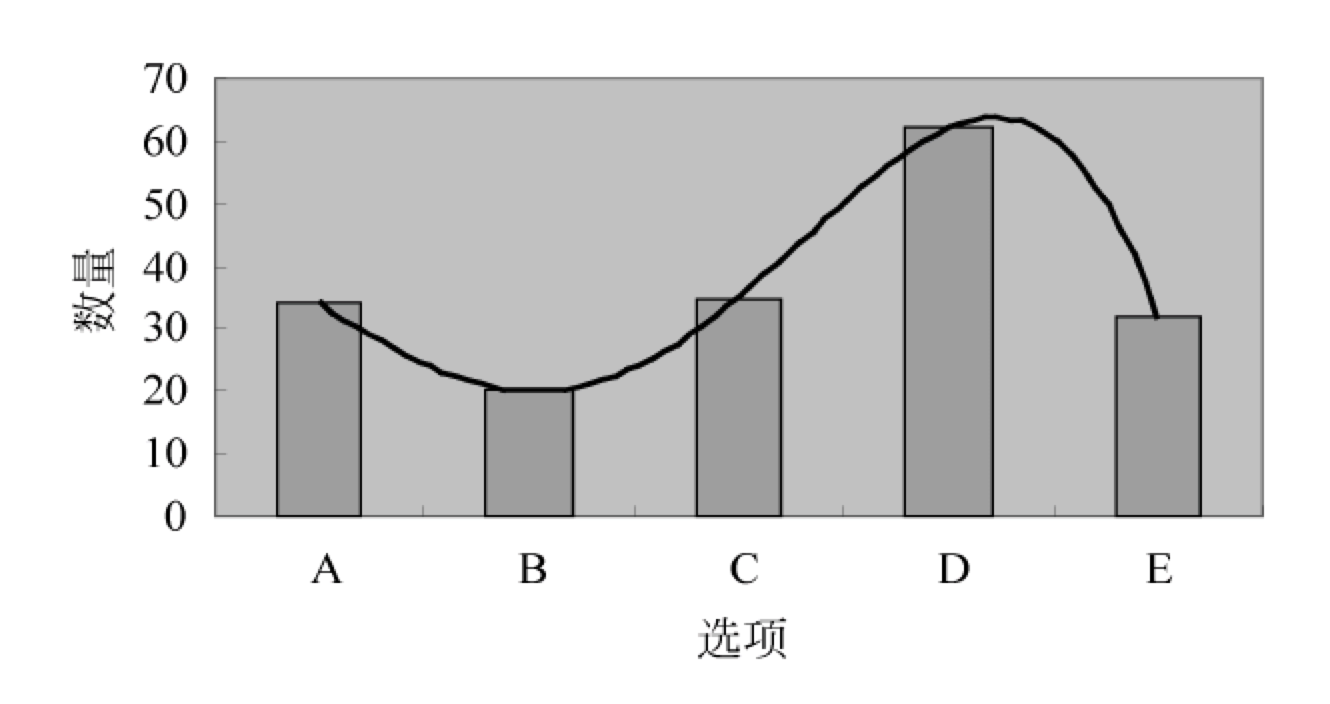



图 4-10 知识更新与压力

经济的发展、社会的进步要求提高全民族的文化素质，这又必须以提高教育质量为前提，进而要求提高教师的学历层次。而在教师聘任制下，高校对应聘教师的学历要求也相应提高，一般高校教师必须有硕士及以上学历，近年许多高校都要求教师具有博士学位。这样一来，无论是为了自身的生存考虑，还是为了符合国家对教师的要求，不论年龄大小，不管经验多少，各层级教师都必须对自己的学历提升或知识的充实拓展而努力奋斗。“学无止境”恐怕是对教师最贴切的形容了。另外，当今社会已经进入信息时代，知识的传播途径增加了，知识的“边界”拓展了。学生可以很容易从网络中获得丰富的知识。因此，以往那种只要照着书本就能讲课的时代已经过去了，教师不能仅依赖书本上的内容，还要积极充分地去发掘与之相关的知识来应对学生。因此，教师必须不断地学

习，不断进修，不断地充实自己，这对教师来说在一定程度上是个负担。如图 4-10 所示，51.4%的教师在相当多的时间里或绝大部分时间里感觉到不断学习给自己带来了压力。教师的工作变得繁忙。据调查显示，8 小时之外，仍然加班工作、学习的教师有 210 人，占总调查对象的 69.5%。

5）压力曲线

图 4-11 中横轴上表示有 4 个年龄段，即 30 岁以下、31～40 岁、41～55 岁、56 岁以上，纵轴表示人数。图中右上方的“19、20、21、22”代表选题题号。从图中可以看出不同年龄段的人在 4 个选题上选择 D 和 E 的情况。

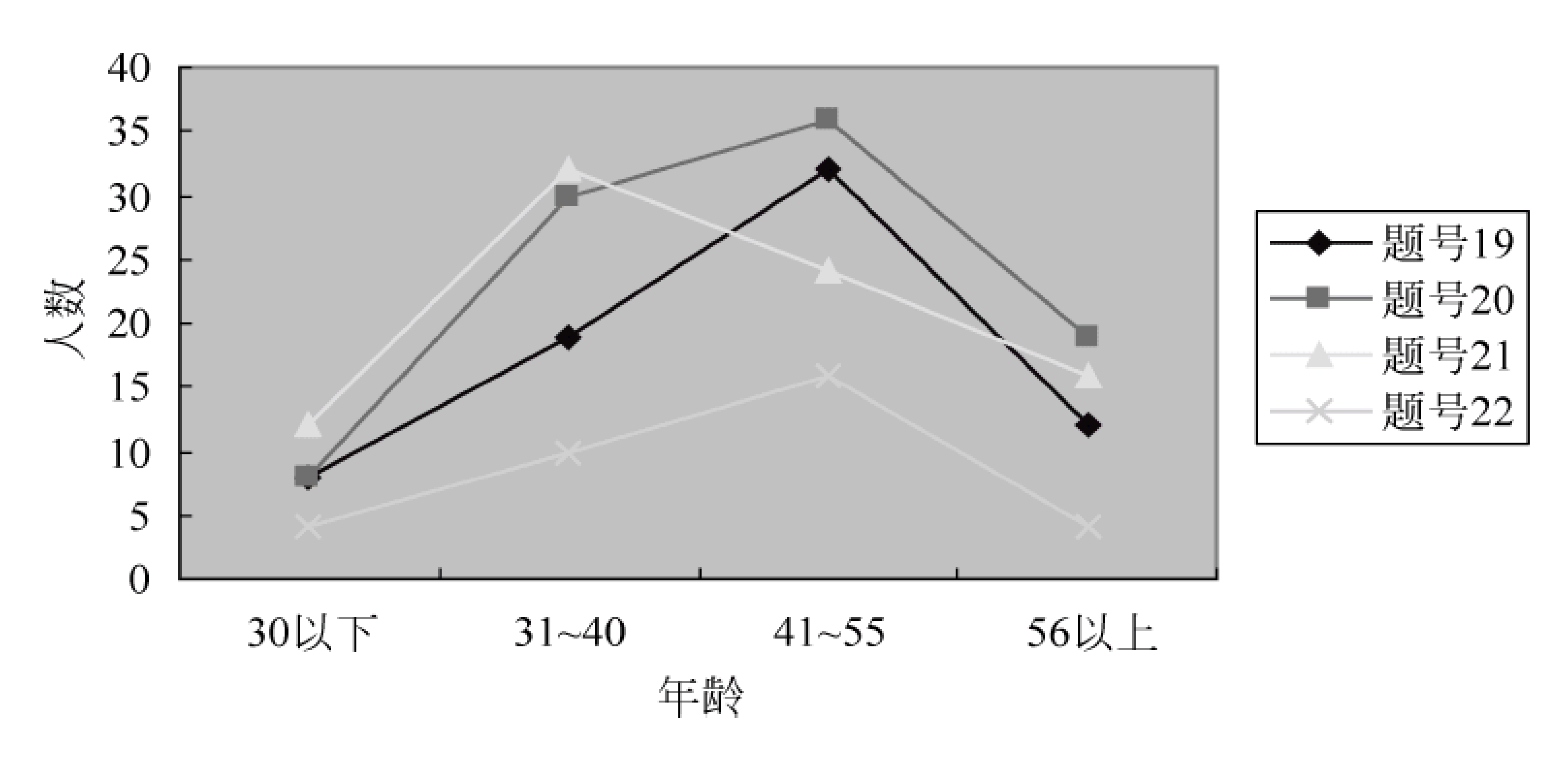



图 4-11　压力曲线

如图 4-11 所示，曲线 19、曲线 20、曲线 21 以及曲线 22 都是从 30 岁以下年龄段开始上升，不同的是曲线 19 从 30 岁以下年龄段开始一直上升到 41～55 岁年龄段到达最高点，然后逐渐下降。曲线 20 是从 30 岁以下年龄段开始上升直到 31～40 岁年龄段达到一高点，然后继续上升直到 41～55 岁年龄段，才开始逐渐下降，曲线 21 是从 30 岁以下年龄段开始上升直到 31～40 岁年龄段达到最高点，然后下降。曲线 22 是从 30 岁以下年龄段开始上升直到 41～55 岁年龄段达到最高点，然后下降。

从曲线 19、曲线 20、曲线 22 来看，其趋向大体一致，都是在 41～55 岁这个年龄段达到最高点。也就是说，在“当您的工作业绩未被恰当地评价时，感到气愤，想不通；觉得在当前聘期内，科研要求过高，难以达到；职称评聘要求高、比例小、竞争激烈，担心自己评不上而寝食难安；知识更新加速，需要不断学习，不断进修，这对自己是个负担”这 4 个问题中对于“代表相当多的时间有（D）”或是“绝大部分的时间有（E）”的选择上，41～55 岁年龄段的人数最多，换句话说，就是 41～55 岁年龄段里，感觉到有压力的人多过其他年龄段的人。而曲线 21 的最高点则是在 31～40 岁这一年龄段，也就是说，关于 21 题的 D 或 E 的选择上，在 31～40 岁年龄段的人数最多。根据上述的阐述，可以得出这样的结论：职业发展中高期的教师，或者具有中高级职称的教师普遍反映压力较大。

教师职业生涯是指一个人在自己的教师职业岗位，从事着与教育相关活动的连续经历。高校教师职业生涯大致可以分为初期、中期和后期3个阶段，它对应的发展阶段则分为上岗适应期、发展期、平稳期和退休期。在教师职业初期阶段，一般年龄段为30岁以下，在这个阶段中，教师的主要任务是了解学校的现状、历史、校园文化以及劳动纪律等，同时也要熟悉自己的课程和工作。而处于这一时期的教师年轻，精力都很充沛，工作相对而言比较轻松，因此，在这一阶段，教师压力并不太大。到了教师职业中期阶段31～40岁，教师职业生涯开始走向核心。进入这一阶段的教师开始通过审视和自我评价，确定了职业目标，明确了自己对高校的长期贡献范围，积累了丰富的职业工作经验，开始逐步走向职业发展的顶峰。在这一阶段，教师通常都会碰到一个"高原"发展期，而这个阶段的年龄一般是在41～55岁。"高原"发展期指的是：①心理学意义上的高原状态，即多数教师所遇到的僵持在某种程度上难以超越的情况，遇到这种情况时，教师的压力就会随着年龄的增大而增加；②高水平状态的平稳发展，为少数优秀教师所处的境界。55岁以上是职业后期。

### 3. 高校教师工作压力现状

1）长期处在亚健康状态

查阅文献综述发现，对南方19所高校以问卷方式对8417名教师进行高校教师健康程度调查（张曦燕，2003），结果显示69.18%的教师处于亚健康状态。另有调查（潘欣等，2003）说明中国高校教师有80%长期感到工作压力太大，75%处在亚健康状态，近30%出现疾病反应。

亚健康是指介于疾病与健康之间的边缘状态，称为"第三状态"，医学上又叫"慢性疲劳综合征"，是生理、心理健康的隐形杀手。主要表现以下方面。

- 睡眠症状：失眠、早醒、噩梦。
- 神经系统症状：头痛、记忆力衰退、身体无力、容易疲劳。
- 精神心理症状：易生气、紧张、恐惧、心烦意乱、焦虑、抑郁。
- 心血管症状：稍多走动或上楼感到胸闷、气短、心慌、憋气。
- 泌尿生殖系统症状：性功能降低，性要求减少，尿急、尿频。
- 消化系统症状：吃饭没胃口。
- 骨关节症状：腰酸背痛，脖子活动时有"咯咯"响声。

2）教学、科研负荷重，工作时间长

（1）高校教师教学工作量大，扩招后平均周学时为20节，有的达到30节以上，备课、上课、改作业、批实验报告占去教师大部分时间和精力。

（2）科研考核、职称晋升压力大。调查显示，有30.4%的教师因申请不到科研课题感到压力大，30～40岁的女教师因发表论文困难而感到压力大，还有36.0%的教师因职

称晋升要发表论文带来压力。

(3) 每天工作持续时间长。据统计,我国教师的日平均工作时间为 9.67h,不包括教师隐形劳动所用时间。越是一流(如“985”“211”大学)的高校教师休息时间越短,资料表明有 42.9%的教师在 22:00—24:00 点休息,21.6%的教师睡觉时间在 24:00 点之后,54.4%的教师经常在双休日加班。

(4) 高学历要求压力大。省属本科高校和高职高专类院校向更高一级高校学习,引进人才已经非博士(博士后、海归博士)不要,有的非博士不能上讲台,非博士不能评高级职称。20 多岁的硕士希望趁年轻考取博士,但处于职业前期,还需完成结婚、生子任务,压力较大。35 岁以上的教师提高学历,由于家庭责任、记忆力衰退,加上工作压力,在学业上感到心力交瘁。

3) 人际关系淡漠

知识分子的自尊和高傲通常出现“文人相轻”,致使人际关系不和谐;普通教师不坐班,上课来下课走,教师之间缺乏接触;现在的高校普遍实行竞争的管理体制,如评职称、报项目、岗位聘任、进修,甚至上课都要竞争;许多教师从学校到学校,缺乏社会经历,属于学术型教师,不敢接触社会,不善与人交往,遇到困难无人帮忙,心情不好无人倾诉。不良的人际关系会使教师感到压抑、情绪低落。

4) 教师也有心理辅导需求

一般人注重学生的心理辅导,其实高校教师的心理辅导也是不能忽视的。由于教师工作压力大,加上不善人际交往,长期处于压抑状态,如果性格偏执,也会出现非理智性行为。

## 4.5 高校教师工作压力分析

### 4.5.1 表征分析

#### 1. 一定程度上个人需求得不到充分满足

美国心理学家马斯洛的人类需要层次论中,把人类的需要按照其重要性及发生的先后顺序划分为五类,分别为生理上的需要、安全上的需要、感情归属上的需要、地位和受人尊敬上的需要及自我实现上的需要。由此可知,人们都有自己的需要,只是需要的层次不同而已。作为高校教师,他们也有自己不同层次的需要。高校担负着为国家输送高质量人才的责任,而这个重大责任的承担者则是教师。高校教师不但被要求是“经师”,而且要求是“人师”,要完成多方面的职责。但是他们的需求又由谁来满足呢?面对教育内部宏观和微观的变革,面对着高校人事制度的改革,高校教师只有被动地接受,尽管他们才是改革的直接关系人。在聘任制下,他们的自主权受到了限制,要想保住“饭碗”,就

得按照领导的旨意：教学既要好，科研也要棒。高校教师的自尊受到了影响，为了保住“饭碗”，必要情况下不得不去讨好学生，因为在评估中，教师要被学生评价。他们的闲暇时间减少了，调查显示，有69.5％的教师八小时之外仍然在工作。而聘任制的实施一改高校以往的“职务职称终身制”，只要在聘期内未按合同履行职责的就要面临相应的调整；对学历的要求也迫使各年龄段教师去寻求继续教育，这样高校教师不管其现有的职称、收入水平及教学技术如何，都要面临巨大的压力。高校教师既要忙着教学和科研，又要不断地“充电”。高强度的脑力劳动压在教师身上，再加上住房分配制度以及医疗保险制度的改革。

**2．一定范围内教学、科研角色的冲突**

在聘任制度下，高校教师兼有多重角色，其中最重要的两个角色就是科研和教学。高校教师们既被要求讲课好，又被要求搞好科研，多出成果。尤其对科研方面的要求更高。因此，由于精力和时间的限制，教师在教学和科研上必然会相互影响，甚至相互冲突。调查显示，认为自己存在角色冲突的教师约占46％。

长期以来，教师的主要职责在于教书育人，传授知识是教师的本职工作。但是，就社会而言，对教师的要求是多方面的。首先要掌握专业知识，精通学业，然后是育人的园丁。

学校管理者对教师的要求则是既会讲课，又要会作研究；讲课讲的要棒，研究也要做得好。在教师任职期间，教师被学生评价、被管理者评价的机会甚多。而其评价标准则是课讲的好坏、发表论文数量的多少，其中又以后者为重点。学校管理者的目的是想把教师培养成复合型人才，提高师资队伍的“含金量”。学校的出发点是无可非议的，但是它忽略了教师之间能力的差异。有的教师擅长教学，而有的教师则喜欢科研。诚然，喜欢科研的人未必教学就不行，反过来也是如此。但是“两手抓，两手都要硬”是需要时间的，不能急于一时，造成许多教师不但要忙于备课，还要忙于写论文，作研究，使得他们忙得团团转，疲惫不堪。而还有的教师则是为了保住自己的“饭碗”，把大部分精力都投入到科研当中，而忽略或不顾教学，造成了教师教学、科研角色的冲突。

**3．有些教师人际关系不够和谐**

问卷中关于“为人际关系担心”这一问题各项选择人数百分比情况如图4-12所示。其中选择D的数量最多，占总数为30.5％，而选择E和D的共占33.7％。由此看来，大部分的教师都在为自己的人际关系而感到担忧。

工作中有许多影响人心境的因素，其中包括工作信息交流程度、工作中的人际关系是否和谐、员工之间的认同与评价情况及领导对自己的认同与评价情况、竞争是否激烈和工作中支持工作意向等诸多方面。在任何公司和学校中，它都不可避免地存在着这些因素。教师劳动的个性化可以从备课、上课直至指导这一系列的独立工作中体现出来，

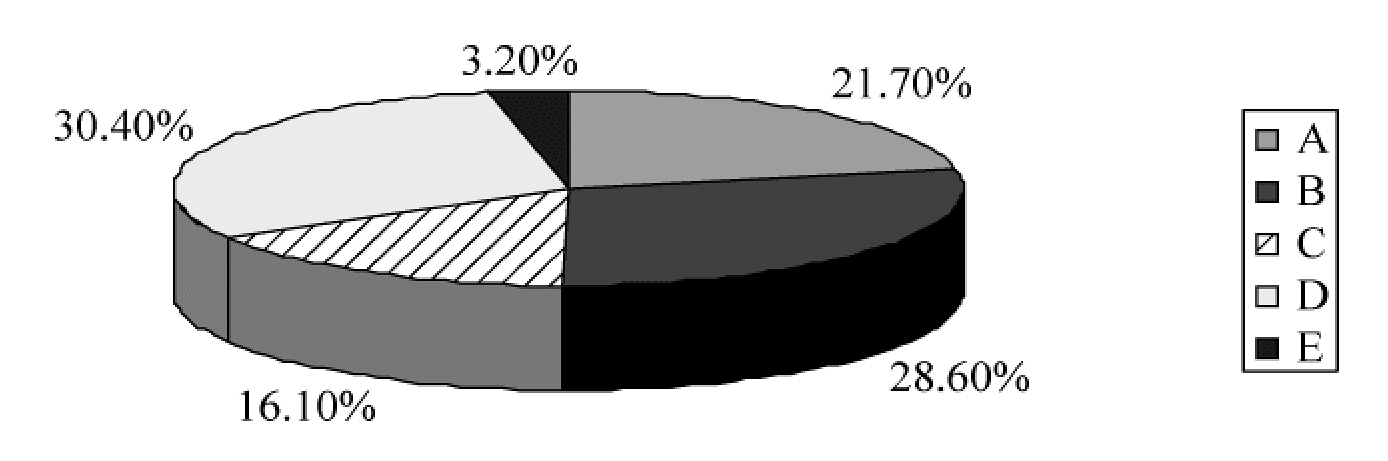



图 4-12　人际关系与压力

这也间接反映着教师劳动的特性。然而，教师与领导、同事之间的各种部门活动、教研活动等都需要大家的共同参与，相互评价、支持和认可。一方面，由于劳动的个体性而使教师之间合作的机会不多，信息交流不足，缺乏了解和沟通，相互之间的不支持、否定增多，使肯定的认可、正确的评价和适当的支持变得有些困难；另一方面，在申请课题、进修、职称评定等方面的频繁竞争，下岗危机的来临加剧了同事之间激烈的竞争，导致人际关系不和谐，工作压力随之产生。“其他教师的态度和行为在 50 条压力来源要素中居第 11 位。即其他教师对一个教师的态度是否定还是赞成，他们的行为是不利于还是有利于这个教师，会在一定程度上使这个教师产生压力。”这份调查结果是基力亚克和萨克利弗提出的。

**4. 部分高校教师对职业发展感到迷茫**

教师职业发展包括内隐性发展和外显性发展两大层面。内隐性发展是指教师职业素质与能力的发展，其发展的实质是不断趋于职业专业化；教师职业发展的外显性内容是指教育教学的实践发展、工作发展、事业发展和成就发展等。教师的职业发展是分阶段进行的，教师的职业生涯一般分为职前准备期、上岗适应期、快速成长期、“高原”发展期、平稳发展期、缓慢退缩期、平静退休期这 7 个阶段。一个教师从 23 岁左右起，工作到 55 岁退休，其职业生涯 30 多年。但是当前聘任制下，一个教师被聘上岗聘期只有三年，三年过后，再竞聘，其结果是被聘或落聘。教师上岗的这三年应该是处于上岗适应期，刚刚完成由学习者身份向教育者身份的转变，虽能独立地开展工作和负起责任，但却不能充分地发挥自身能力。在这种情况下，刚刚上岗的教师就因目前没有达到校方要求而被解聘的话，学校就会损失一批有潜力的教师，而在岗的部分教师则对未来的职业发展感到迷茫。

**5. 多数教师工作负荷过大**

据调查，近 70％的教师将八小时以外的业余时间都用来加班，除正常教学外，高校教师还需要专研和探究适宜不同个性的个别化教学、创新教学，同时还要搞科研，这无疑加大了高校教师的工作量，延长了他们的工作时间。一些硕士生导师甚至连节假日、寒暑假都在工作。很多中青年教师工作热情极高，教研室里每晚都挑灯夜战。一些年纪大的教师面对巨大的工作压力，需要不停地“充电”提升自己，以适应不断发展的需要。部分

教师由于工作压力大，长期拼命地工作，积劳成疾，甚至英年早逝，清华大学的教师焦连伟和高文焕即是典型的例子。教授职称未拿到之前努力争取，获得后还得抓紧搞研究，担心被解聘下岗，总之，教师长期处于高压状态下，无法得以缓解。高校的教授可以高枕无忧的时代已经一去不复返了。

## 4.5.2 负面影响分析

### 1. 对教师健康的影响

问题“不容易入睡，睡不好”反映工作压力对教师健康的影响，压力严重地影响着教师的身体健康，从图 4-13 中可以很明显地看出来，5 个选项中选 D 的占到了 26.70%，比例最大，选择 E 的占了 6.00%，两者加在一起接近总人说的 1/3。

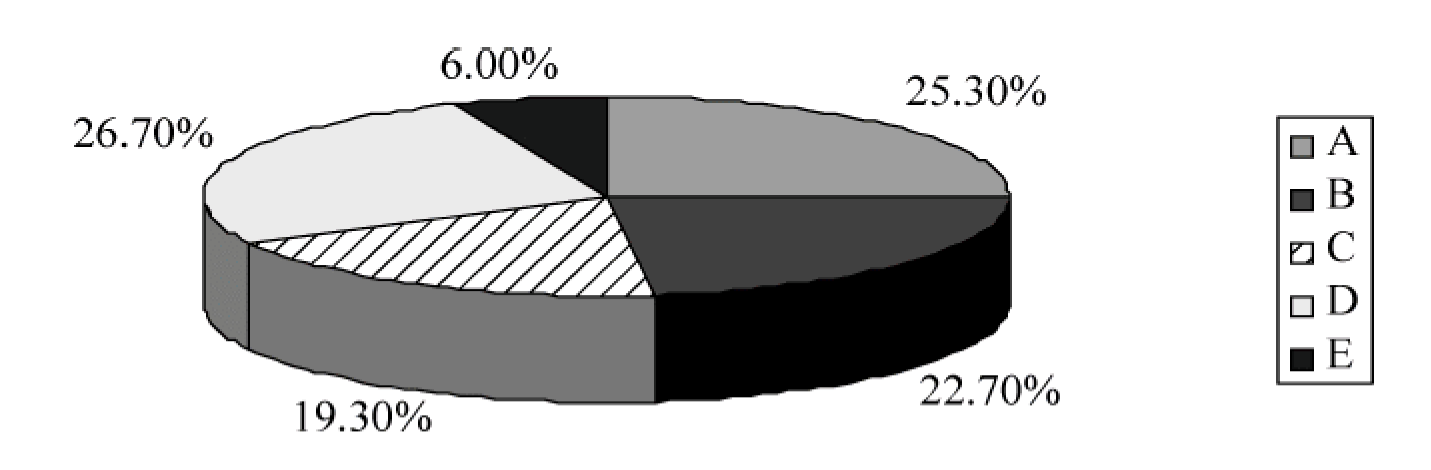



图 4-13 教师健康与压力

过大的工作压力严重损害了教师个体的身心健康。大量实验表明，当压力达到一定程度就会导致人体内一些生化反应的失调。若大脑感觉到压力时，视丘下部会向垂体发出警告信号，此时，信号就会刺激肾上腺分泌激素以及其他生化物质。激素的作用是帮助调节胰岛素分泌、新陈代谢、血压以及心脏血管的功能。然而，当个体处在一种长期或者极端压力的情况下，会使激素分泌过多，进而对人体中的脑细胞造成破坏，从而导致急剧增肥、短期记忆损伤、高血压、易怒或者其他情绪问题以及易疲劳等其他外在的症状表现。此外压力过大体现在生理上的症状包括疲劳、失眠、头痛、溃疡及胃功能紊乱，随之还会伴有一些更严重的心律加快、神经失调等症状。内在的心理上的变化通常是抑郁、暴怒、长时间的紧张和焦虑以及忽视对人的关注及经常性的忧虑。表现在行为上则是易被激怒、言语过激、行为冲动、对如抽烟酗酒等刺激性物质的依赖性增强、怠工旷工、不愿参加活动、人际关系不和谐等。

如果这些消极的影响不能够得到有效缓解，教师从工作中能得到回报和满足不能削减这些消极的影响，自然会影响降低其工作的热情，有的选择提前退休，有的选择跳槽，仍留在教师工作岗位的则可能不求上进、得过且过。受职业压力的影响，一些有潜力的教师会产生职业倦怠，过早离开教育岗位。

此外，部分心理上能承受住职业压力的教师也会因为工作负担过重身体健康受到严重危害，身体上的异常会凸现出来，严重的可能导致过劳死。清华大学工程物理系教授

高文焕被视为清华大学工程物理系的重量级学者，因为工作繁忙，经常通宵达旦，因患肺腺癌46岁就离开了他的工作岗位；焦连伟也是清华大学的一名教师，也由于工作过于劳累英年早逝；萧亮是中国社会科学院边疆史地研究中心学者，32岁就与世长辞，临终时在睡梦中突然大口喘气。毋庸置疑的是，巨大的工作压力严重威胁着教师的身心健康。

**2. 对教师道德素质的影响**

古人云："学高为师，德高为范。"作为高校教师不仅要博学，还要有良好的师德。高校教师在从事教学实践的过程中，个人的审美情趣、思想情操、价值取向、道德标准以及敬业奉献精神必然会潜移默化地影响学生，而且有可能通过学生影响社会的价值观念。在新的形势下，特别是我国高校实行教师聘任制后，高校教师处在一个前所未有的局面里，对教育改革的认知发生了变化。有些教师还感到过大的压力，经常会感到身体和精神上的疲惫，对同事和学生具有消极的态度，在课堂上表现一般或者很差。为了解决他们的私人问题，很多教师承认他们通常会改变他们的教学计划或者在教学活动中偷工减料，把节省下来的时间用来处理个人事务，学术道德失范在一定范围内存在。此外，高校教师的学术精神有所下降和倒退。部分教师为了能继续任聘，过多地关注发表论文的数量。因此，有的教师违背基本的学术道德，或抄袭剽窃，或请人代写，或署名不实；有的教师片面追求数量，脱离实际，粗制滥造甚至篡改、伪造数据；有的在评估、评审工作中弄虚作假，或以不正当手段影响评估结果。此外，学术评审行政化问题也十分突出。部分教师的人生观、价值观会在这种情况下脱离正确的轨迹，一些教师会抓住这些机会，学生也会潜移默化地受到教师的影响，因为他们是教师的直接工作对象。

**3. 对教师个人职业素质的影响**

"振兴民族的希望在教育，振兴教育的希望在教师。"前国家主席江泽民在庆祝北师大建校100周年的大会上指出："进行教育创新，根本是进行素质教育，全面提高教育质量。"而进行素质教育的关键则在于提高高校教师的素质。可以说，教师素质的高低对整个教育事业的成败起着决定性作用。虽然高校教师在整个教师中所占比例并不算大，但是他们的素质高低却对教育的振兴和社会的发展至关重要。高校进行人事制度改革，实行教师聘任制的目的就在于建立高素质人才队伍。但是，聘任制的实施也影响了教师个人职业素质。教师职业素质包括职业道德、职业精神、职业理想、职业信念、职业意识、职业角色、职业能力和职业行为等一系列素养。在聘任制下，高校教师的压力对其个人的职业素质也产生了负面影响。一些高校教师的职业道德缺失在一定范围内存在，学术论文剽窃他人，在评估中以不正当手段影响评估结果。

#### 4. 对师资队伍整体素质的影响

我们国家提出“教育兴国”大计，关键在于建设一支具有良好职业素质、业务能力、结构合理、相对稳定的教师队伍。为此，高校推行一系列改革，如人事制度的改革、高校教师聘任制改革、工资分配制度的改革。这些改革的实行，有利于人才的流动，使其充满活力和生机，给高校师资队伍注入了新鲜血液。但是，在看到有利因素一面的同时，更要看到不利因素的另一面，如聘任制带来的负面影响。

（1）高校教师队伍素质的提高需要一个较长的过程，培养出“大师”需要一个过程，需要适宜的环境，需要长期的坚持。学无止境，学海无涯。教师队伍职业素质（师德和专业素质等）的提高不可能一蹴而就，肯定要有一个相当长的过程和时间。教师自身职业素质的提高跟这个过程则是息息相关的。在信息时代和知识大爆炸的新情况、新形势、新条件下，要求教师必须树立“终身学习”的理念，提升教师的整体素质需要不断地执行下去，提高其学历层次和职称级别，更新其知识结构。高校教师在聘任制下并不能形成“终身学习”观。

（2）提高教师队伍职业素质中的师德素质也是不容忽视的。教师不仅要教书，更要育人。在生活中也要与学生沟通，成为学生的朋友和导师。显然，在教师的小舞台，教师将科学文化知识传播给学生的同时，其工作作风、“学高为师，德高为范”，高校教师思想过关与否甚为关键，因为他们的价值取向、道德修养，在整个教学期间会无时无刻不在影响和渗透给学生。他们的一言一行也会无形之中移植到学生的思想和情操、心理和生理的健康、理性的价值观。在当今社会主义市场经济下，高校教师聘任制尚未完善，高校教师师德建设面临新情况、新环境、新问题。一些教师不注重师表形象，缺乏敬业精神，重利而不重道，忽视育人意识；还有的在学术研究上存在着作风浮躁、投机取巧、急功近利等学术腐败问题。这些不良现象的产生，既影响了高校和教师的名声，也影响了学生的成长，同时对高校教师队伍整体素质的提高产生负面影响。

### 4.5.3 压力源分析

高校教师职业的特殊性以及当今高等教育改革面临的形势决定了高校教师职业压力主要来源于以下 7 个方面。

#### 1. 教育改革带来的冲击

随着我国高等教育改革全面深入地进行，教师工作方式、心理定势、竞争方式和利益分配等都正在变革，使一向相对安稳的象牙塔高校成为一个竞争激烈的场所，尽管这些改革为高校教师带来更大的机遇，但是同时也给他们带来巨大的压力和挑战。在以往的高校中，副教授、教授等头衔一朝加冕即可高枕无忧，在课题安排、职务升级、评定职称、薪金酬劳上虽有论资排辈现象，但基本很稳定，相差也不大，压力也相对较小。而聘任制下，职称职务终身制破除了，竞争上岗，科研任务加重了，收入差距拉开了，竞争加剧，同

事间关系紧张了等。改革中不稳定的过程以及不确定的后果给教师带来各种担心和顾虑。教师们在各种改革的冲击下都会产生了强大的心理压力。

高校要生存、发展，必须进行体制改革。如全员聘任、竞争上岗；高校合并，人员分流；高校“质量工程”建设：重点学科、品牌专业、精品课程、示范中心、创新基地等；科研进行量化考核，例如，核心刊物上发表的文章数量，申报的课题科研经费的数额等都会给教师带来显著的职业压力；职称评定改革，指标越来越少，要求越来越高，项目、论文、著作、成果等条件在五年时间内完成，有的还要加上学历要求，使许多教师晋升无望（刘树载，2003）。学校的考核制度不完善、不健全，考核结果跟人的因素有很大关系，教师既要谋事又要谋关系。

为了激励教师高校在工资分配上进行了改革，如绩效工资制的实施拉开了工资差距，最高收入超过最低收入的 7 倍多。教师要争着上课兼课酬，或社会兼职搞创收，都难以像以前那样专心教学。工资分配的不合理，使优秀教师都去竞聘机关岗、领导岗，可以名利双收。而普通教师教学、科研工作量更重。

**2. 学校管理考核要求高**

对于大多数高校教师来说，各院校的岗位考核指标给他们带来了最直接的职业压力。随着高校的扩招，教师每年除了要承担若干课时的教学任务外，许多高校还规定：申报职称，必须承担一定档次的科研课题，要发表一定级别和数量的著作或学术论文。由于职称越高要求越严，大多要求省部级以上课题、核心期刊等。有些高校甚至将此规定列入年度工作考核，直接与教师的收入甚至岗位挂钩。根据最新的调查，笔者认为，应当深刻地反思这种考核指标体系。其一，如果单单只把科研的绩效与硬性划分的考核标准紧密地联系在一起，恐怕连那部分擅长科研，对科研兴趣较强的教师也会感到不自在，兴趣一旦与繁重的任务挂上钩，压力也会随之而来，其动力效果会大打折扣。现在已经出现一些人为“达标”现象，很多教师不得已将研究成果拆开分阶段发表；其二，由于高校教师担负有科研与教学的双重任务，诚然能教学科研双肩挑的复合型教师深受高校的欢迎，但如果要求每一位教师都能做到恐怕不太现实，王老师上课座无虚席，但可能文笔平平；高老师不善言辞，但可能著作颇多，我们不能用单一的尺度去衡量各具特色的高校教师，这样做既不科学也有失公平。因此，当今流行于各高校的这种不科学的考核管理制度是导致高校教师职业压力的重要原因。

跟公务员比，教师不仅工资不高，在教学上更是受到最严厉的监督。如督导组听课、领导听课、同事听课甚至学生评分，学生座谈会都将成为教师的授课质量评价的重要依据。有的学校为了提高教学质量，采取了许多措施。例如，把学生给教师评的等级作为教师职称评定的一个重要依据；规定在职称评定中教学质量起决定性作用，可以“一票否决”等。这些措施的确起到了一些作用，但其也暴露出许多明显的不足。为了不影响职称大事和质量评分等级，有的教师不但不严格要求学生，反而讨好迎合学生。特别对于扩招后不爱学习的学生，其教学质量可想而知。教师的权威受到挑战，在教师与学生之

间的管理矛盾中，教师反而处在弱势一方。

在学校，教师具有双重的角色地位，他们一方面是被管理者，另一方面又是管理者。既有“文人相轻”的想法，又有追求真理、傲视权贵、抑制感情、服从理智的心理特征。广大的教师同样也有着多种需求（吴迎华，2003）。因需求的不同也就衍生了各种不同类型的教师。有流动型、生活型、事业献身型和科学献身型。因此他们在个人价值、奋斗目标、人生理想等方面也有显著的差别。而这些类型并非单独存在，它们往往又交织在一起，综合反映在一些教师的身上。因而在工作与实际生活的角色转换过程中，不可避免地会带来一些冲突。在学校，教师负责传授知识和管理学生活动，他们扮演学生家长的代理人，照顾好学生，另外他们也是学生的朋友，是学生心理感情的交流者，需要与学生平等地交流思想和感情；在家庭中，他们为人夫（妻），为人父（母），为人子（女），需要教育孩子，扶持另一半，赡养老人；在社会上，他们又是活动家，需要与学校领导、其他教师、社会各界打交道等。多方位的角色转换必然会产生教师的多种心理冲突，从而形成教师的心理压力。

**3．工作负荷重和持续时间长**

伴随高校的扩招，学生人数也在急剧增加，而高校教师的教学任务也随之加重。全国政协委员、首都师范大学张燕谨教授，对此痛心疾首：“现在知识分子的压力越来越大，不少人是在透支生命！”她以高校教师举例说：“每人一年要承担数百个课时的工作量不说，因教学需要还要翻阅大量资料。现在实行各种聘任制，对学术研究要求非常苛刻……”在一项对宁波大学青年教师心理压力的调查问卷中显示：青年教师的工作任务繁重，周课时在 9～12 节的教师有 22.9％，周课时在 5～8 节的教师占少数，只有 16.5％，而周课时在 12 节以上的教师也有 12.8％。由于就寝时间在 22：00 点以前的只有 13.2％，青年教师晚上的睡眠时间则显得不足，调查中显示，在 22：00—24：00 点的居多，占 61.7％，在 12 点以后的占 25.8％，而且有 73.5％青年教师在晚饭后到就寝这段时间都在干与教学科研有关的工作。这表明高校青年教师的工作压力不容易消除，工作时间和生活时间没有明确的界限。在一些著名的高校里，这种现象更严重。某高校人文学院院长说：“在半夜 12 点至凌晨 1 点到北大教师宿舍区走一走就会发现，许多教师宿舍的灯还亮着，化学楼、理科楼等主要研究室，至少有 1/3 的房间灯火通明，他们或是在搞科研或是在备课。更为令人惊讶的是，生命学院的一位教授在连续 730 多天里，仅一个晚上没去实验室。”高校教师一方面要付出大量的时间和精力，身心疲惫，生活内容单一，另一方面又要承受着教学科研的双重负荷，压力难以缓解。

**4．专业发展的挑战**

对压力来源的分析主要从内外两方面来进行。从内部讲，每个人都有获得资源和努力保护的意向，一旦工作就必须要付出资源，比如知识，对于高校教师来说，“知识”就是他们的从业资本，这属于高脑力消耗的职业，而当这些最有价值的资源不断消耗，却得不

到充足的补给时,他们也必然会感到不安和较大的压力。作为知识文化的传播者的高校教师来说,处于知识更新的风口浪尖,一些现实条件的制约和超负荷的工作会使得他们力不从心,处于矛盾的进退维谷之中。从外部来讲,伴随着高校学历竞争的加剧以及整个社会受教育层次的提高,对教师的学历要求也越来越高,比如,在教学科研的同时,年长一点的教师要尽量提升学历或做访问学者,而年轻一点的教师则要想方设法攻读硕士、博士学位。这种水涨船高的现象原本无可厚非,但不应只看表面,还应看到实质性的东西,高校教师继续教育不能简单地等同于单纯的本、专科阶段的学习,还必须考虑家庭、子女、年龄等复杂因素的制约。

在知识爆炸的今天,信息技术的发展日新月异,知识更新速度也在加快。有的教师不会计算机,不会上网,不会使用多媒体手段上课,不会自己制作 PPT 课件,特别是信息类课程一年一小变,三年一大变,课程改革跟不上市场需求的变化,甚至有的课程在校时落后,毕业后淘汰,没有达到教学的目的。同时信息时代,学生获取知识的渠道增多,自学能力增强,接受能力加快,知识面扩大,某些方面甚至超过了教师,使教师的知识权威面临失去的危险。在信息化时代,教师渴望进修"充电",跟上知识更新的步伐,但由于课程改革的滞后、进修体制的阻碍,工作压力的负荷,使部分教师处于想学而又跟不上的力不从心的焦虑之中。

**5. 人际关系沟通缺乏**

在今天这样高速发展的社会里,人际交往是现代人沟通情感、交流信息、增进健康等必不可少的重要手段。在高校教师中,由于工作任务和工作性质的关系,生活圈相对而言较窄,接触对象类型较为单一。由于高校历来都实行非坐班制度,使得教师上课来下课走,来也匆匆,去也匆匆,没有固定办公场所,与学生、同事的交流甚少,有时虽说同在一个学校教书,但相互不认识、不了解是很正常的事;在高校里,一学期课上完了,能叫上名字的学生更是寥寥无几。师生们的交往呈现功利化倾向的现象也日趋严重。随着竞争的加大,使得同事间人际关系变得更加淡漠和紧张。处在这种人际交往状况中,缺少心理支持,必然会产生误解和压力。

**6. 大众教育对学生期望过高**

过去,我国高等教育走的是"精英教育"路线,学生质量高。高校扩招后,虽然人数激增,但是整体素质下降,教师们都感叹现如今的学生见多识广,思维敏捷,但是不如过去七八十年代学生那样踏实、勤奋、谦虚。这种高等教育质量下降的现象,既有教师的原因,也有学生的原因。面对这种状况,很多教师因为辛苦的投入达不到预想的成效,于是产生了沮丧感和职业倦怠,而学生、学校和社会对教师的要求期望却越来越高,于是之前产生诸如沮丧倦怠的情绪越发强烈。由此可见,这种低成效和高期望之间产生的差距也是高校教师产生职业压力的原因之一。

精英教育与大众教育的目标显然不同,在扩招的今天,拿过去精英教育的要求硬套

大众教育的学生，不免让许多教师感慨现在的学生一届不如一届，本科生不如大专生，甚至不如过去的中专生。学生素质的变化要求我们改变人才培养方案，调整课程体系，降低难度，突出应用性。同时现在的高校生比较强调自我，具有很强的独立意识，在思想、观念、生活方式等方面不喜欢局限于他人的束缚之中，他们渴望知识，视野开阔，思维敏捷，善于通过各种渠道来学习掌握新知，特别是互联网。又由于知识的快速更新换代，这对教师的要求也越来越高；随着商品大潮的冲击，学校与社会越来越接轨，学生们已不仅仅局限于学习课本知识，他们希望学以致用，越来越重视参加社会实践，希望能在实践中锻炼自己的同时，更快的学到最新的知识，更好地融入社会，为自己的将来做好准备。所有的这些对传统的教育方法和教育观念提出了严峻的挑战。高校主体由教师转向学生，学生地位和维权意识大大提升。这些矛盾最终反映到精英教育与大众教育的冲突上。

**7. 心理调控能力不足**

心理疏导问题和心理调控反映出的是心理健康问题。但人们往往只强调教师的奉献精神与责任感，只重视他们的教学成果，而忽视他们的心理健康的维护。而一谈到心理健康，人们首先会想到学生的心理健康，却很少会想到教师的心理健康。有调查显示，部分教师由于心理健康、工作压力及压力管理等方面知识的无知、缺乏或者忽视，在压力面前缺少正确的压力管理策略和心理调整手段。在我国许多高校，还未开设教师心理服务机构，教师们的心理问题也不能得到及时有效地治疗与调整。西方发达国家心理咨询机构非常多，不仅社会上大量存在，而且在高校也普遍建有教师心理咨询中心。由于工作性质，教师们不可能采取“疯狂发泄”的方式去调整自己，只能时时压抑自己的感情，将情绪闷在心里，长此以往，慢慢就会产生心理问题。一旦教师产生心理问题，将对学生乃至高校产生消极影响。

## 4.6 本章小结

总结并发展了工作压力模型，这种桶状模型更有利于人们对工作压力的理解。然后以湖北省某理工类高校为实证研究对象，结合系统研究与层次研究的方法、问卷调查法、归纳推理法来进行研究。对高校教师职业压力现状进行了调查，对其压力表征进行了统计，对教师工作压力带来的负面影响进行了归纳，最后对高校教师工作压力的原因进行了分析。在后面的归纳、分析中结合了其他文献中的数据和分析。本章结论如下。

高校教师工作压力的确存在，35～45岁之间的教师压力表现最明显，其主要类型有业绩评估的压力、科研考核的压力、职称评聘的压力、知识更新的压力、人际关系的压力、职业发展的压力、工作负荷的压力。其中工作负荷压力和人际关系压力高于其他来源的压力。

高校教师的工作压力特点为：他们所承受的工作压力主要表现为慢性压力，而不是

急性压力。

高校教师工作压力的主要原因有教育改革、学校管理考核、工作负荷和时间、职业发展、人际关系、学生因素等。

本书实证研究由于匆忙，准备不足，有许多方面尚需进一步研究。

（1）全国高校众多，排名不同，各有特色，需系统研究。

（2）建立中国特色的高校教师职业压力量表，提高量表信度，并运用于实际测量中。

（3）尽可能形成全国范围的高校教师工作压力咨询和缓解网络。

C H A P T E R 5

# 第 5 章 高校教师工作压力扩散研究

## 5.1 引言

一项对 72 所国内高校的调查显示，有 94.6%的教师感到有精神压力，其中有 35.6%的人感到压力很大。国外根据瑞士日内瓦大学哈伯曼(M. Huberman)的研究(1993)发现，40%的教师有过疲劳的经历。这些研究都表明教师压力是普遍存在的。虽然压力对人的影响有积极与消极两个方面，但是，大量的研究表明，压力对教师的影响主要是消极的。压力导致教师情绪的不稳定，如焦虑、压抑、抑郁，对教师的心理影响很大。国内外的众多研究结果已经证明，教师是一个高压力职业。本书将高校组织抽象为复杂网络，教师抽象为网络中的节点，采用基于智能体仿真的方法，发展工作压力传播模型，对复杂网络中教师工作压力传播规律进行仿真研究，为高校和教师提供决策支持，以采取正确的压力管理策略。

对于工作压力(也称职业压力，Occupational Stress 或 Job Stress)的定义，有的学者认为工作压力是应激变量，有的认为它是环境变量，还有的认为它是介于个体和环境之间的交互变量。教师压力就是教师由于教学、科研等工作方面原因而导致的一种情绪经历，这种情绪直接作用在心理，反映在生理上，体现在行为中。工作压力主要包括压力源、中介变量和压力反应。教师压力源指跟教师的教学及教学情景相关的能够改变压力强度的压力来源，包括 3 个方面：①学校(组织)因素，如任务要求、角色要求、角色模糊、角色冲突、工作过载及组织变化；②个体因素，如个体能力、个体期望、个性特征及团队关系；③环境因素，即经济、政治、技术的不确定性。关于工作压力理论，1979 年 Karasek 提出工作要求—控制(决策)

(Job Demands-Control/Decision Latitude, JDC)模型,到 1988 年 Cooper、Sloan 和 Williams 进一步论证了职业压力指示器(Occupational Stress Indicator, OSI)模型。1989 年 Johnson 等人将社会支持维度添加到 JDC 模型,提出工作要求—控制—支持(Job Demand-Control-Support, JDCS)模型。后来 Robbins(1997)提出的压力源—压力体验—压力结果模型(Stressor-Stress experience-Stress effect Model)。复杂网络(Complex Networks)就是具有复杂拓扑结构和动力行为的大规模网络,是从拓扑学的角度对自然界的大量复杂系统的一种很好的描述方式。复杂网络的 3 个基本类型,即随机网络(Random Networks)、小世界网络(Small World Networks)和无标度网络(Scale Free Networks)。大量的实证研究表明,现实世界中的复杂网络常常既有小世界效应又有无标度特性。关于传播模型,有一些经典模型描述信息、疾病、创新、产品的传播。众所周知,病毒传播模型是其中研究和应用最广泛的,包括 SIS(Susceptible Infected Susceptible)模型和 SIR(Susceptible Infected Recovered)模型等。Pastor-Satorras 等研究了复杂网络特别是无标度网络结构的病毒传播规律,Lloyd 及 Olinky 等研究了异质网络的病毒传播。然而,以上病毒传播模型并不适合解决工作压力传播。其差异在于压力传播后个体(节点或智能体)的压力强度会发生变化(即当一个节点输出压力,其自身的压力强度将降低;当输入压力,其压力强度将增加)。相反,在经典的病毒性营销模型中,个体一旦成为采纳者会保持其状态,并且使用 4 个状态变量而不是 2 个变量。

5.2 节介绍复杂网络上的传播动力学,5.3 节介绍多智能体仿真与仿真平台 AnyLogic,5.4、5.5 节建立工作压力扩散(Occupational Stress Diffusion, OSD)模型,在 AnyLogic 软件上运行该模型,通过 MATLAB 软件绘图分析,得到仿真结果,最后进行小结。

# 5.2　复杂网络上的传播动力学

## 5.2.1　复杂网络理论

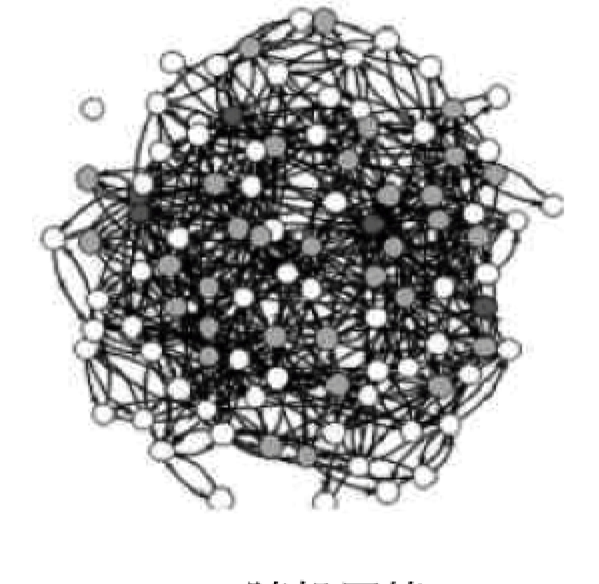
### 1. 复杂网络简介

“21 世纪是网络的世纪”。网络极大地丰富了人们的日常生活,使人们的工作方式也发生了改变。网络的力量无处不在,可以通过手机、电子邮件随时随地与远方的亲朋好友保持联络。人们熟知的网络以 Internet 为代表。另外,网络还体现在现实生活的各个方面,如通信网络、交通网络、电力网络等。此外,还包括各种抽象的网络,如科学家之间构成的科研合作网络、人与人所形成的社会关系网络、国家之间形成的贸易关系网络等。伴随着计算机对数据的处理和计算能力的飞跃,科学家们发现这些真实网络既不是单纯的规则网络,也不是完全随机的网络,而是一种具有完全不同于前两者的统计特征的网络,这些网络被科学家们称为复杂网络。

复杂网络理论为对现实中由图描述的复杂系统分析提供了强有力的方法理论，它将现实生活中的复杂系统抽象成为网络，对其结构特征和动态行为等进行研究，其复杂性主要表现为节点复杂性和结构复杂性。因此，复杂网络研究成为了21世纪初最热门的研究课题之一，引起了大批来自统计物理、数学、生物、计算机科学和信息科学等诸多领域学者们的关注。

**2．复杂网络研究的新纪元**

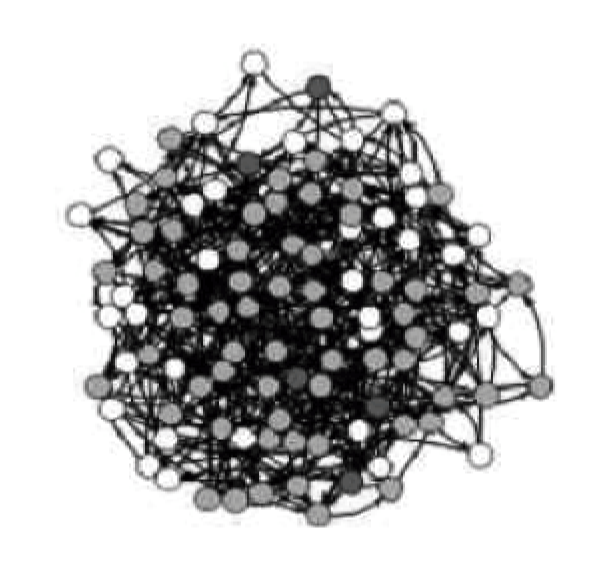
20世纪60年代初，匈牙利数学家Erdös和Rényi建立的随机图（Random Graphs）理论被公认为是数学上开创了复杂网络理论的系统性研究，其模型称为E-R随机图。此后近40年的时间里，随机图理论一直是研究复杂网络结构的基本理念，被认为是描述真实系统最好的网络。绝大多数实际的复杂网络结构并不是完全随机的。直到20世纪末，两篇开创性的文章标志着复杂网络研究新纪元的开始：①1998年美国康奈尔（Cornell）大学博士生Watts及其导师Strogatz教授在*Nature*杂志上发表题为"'小世界'网络的集体动力学"的文章，提出小世界网络（Small World Networks），其模型称为WS模型。物理学家把大的聚类系数和小的平均距离两个统计特征合在一起，称为小世界效应（Small-World Effect），具有这种效应的网络就是小世界网络。②1999年美国Notre Dame大学的Barabási教授及其博士生Albert在*Science*杂志上发表题为"随机网络中标度的涌现"的文章，提出无标度网络（Scale Free Networks），其模型称为BA模型。许多真实复杂网络的度分布服从幂律（Power Law）分布，这个特性称为无标度性（Scale-Free Nature），其产生机理有网络的增长特性和优先连接特性。增长特性即网络的规模是不断扩大的。优先连接特性即新的节点更倾向于那些具有较高连接度的"大"节点相连接，这种现象也称为"马太效应"。因此，把节点的度分布服从幂律分布的网络叫做无标度网络。大量的实证研究表明，现实世界中的复杂网络常常既有小世界效应又有无标度特性。图5-1表示的是复杂网络的3个基本类型，即随机网络、小世界网络和无标度网络。这两篇重要的文章对于复杂网络研究具有里程碑的意义，开启了复杂网络研究的全



(a) 随机网络



(b) 小世界网络



(c) 无标度网络

图5-1　复杂网络基本类型

新时代。斯蒂芬·霍金曾经说过,21 世纪会是复杂的世纪。复杂网络研究成为 21 世纪初最热门的研究课题之一恰恰就说明了这一点。

### 3. 复杂网络的基本概念

现实世界中很多系统都可以用复杂网络模型来表示,如 Internet 网、万维网(WWW)、通信网、交通网、电力网、神经网、社会关系网、科研合作网等。随着人类社会的发展和科技的进步,网络的复杂度日益加剧。复杂网络就是具有复杂拓扑结构和动力行为的大规模网络,是从拓扑学的角度对自然界的大量复杂系统的一种很好的描述方式。将真实系统中的个体抽象为节点(Node 或 Vertex),而通过边(Edge)来表示个体间的相互联系,网络则是由这些节点和连接这些节点的边所组成的图(Graph)。复杂网络的节点可以是人或者实体,边是这些节点之间的联系或关系。复杂网络是一种描述自然科学、社会和工程技术中相互关联的模型,涉及多个学科领域,如复杂性科学、计算机科学等领域。

复杂网络的特征度量一般包括度分布、聚类系数和平均路径长度。

1) 度分布(Degree Distribution)

节点 $i$ 的度 $k_i$:节点 $i$ 与网络中其他节点的连接数,即

$$k_i = \sum_{j \in N} a_{ij} \tag{5-1}$$

式中　$N$——网络节点总数;

$a_{ij}$——网络连接矩阵元,当 $i$ 和 $j$ 相连时,则 $a_{ij}=1$;当 $i$ 和 $j$ 不相连时,则 $a_{ij}=0$。

所有节点的度 $k_i$ 的平均值称为网络的平均度,定义为 $\langle k \rangle$。

度分布:网络中节点的度分布用分布函数 $P(k)$ 来表示,其含义为一个任意选择的节点恰好有 $k$ 条边的概率,也等于网络中度数为 $k$ 的节点的个数占网络节点总个数的比值。

2) 聚类系数(Clustering Coefficient)

聚类系数 $C_i$ 用来描述网络中节点的聚集情况,即网络有多紧密,比如在社会网络中,你朋友的朋友可能也是你的朋友或者你的两个朋友可能彼此也是朋友。其计算方法为:假设有一个度为 $k_i$ 的节点 $i$,如果这 $k_i$ 个节点都相互连接,它们之间应该存在 $k_i(k_i-1)/2$ 条边。假如它们之间实际存在的边数只有 $E_i$ 的话,则 $E_i$ 与 $k_i(k_i-1)/2$ 之比就是节点 $i$ 的聚类系数,即

$$C_i = \frac{2E_i}{k_i(k_i-1)} \tag{5-2}$$

网络的聚类系数就是整个网络中所有节点的聚类系数的平均,即

$$C = \frac{1}{N}\sum_i C_i \tag{5-3}$$

3）平均路径长度（Average Path Length，APL）

网络中两个节点 $i$ 和 $j$ 之间的距离 $d_{ij}$ 是其最短路径长度，为连接两个节点的最短路径上的边数。网络的直径指网络中任意两个节点之间的距离的最大值，记为 $D$，即

$$D = \max_{i,j} d_{ij} \tag{5-4}$$

网络的平均路径长度 $L$ 定义为网络中任意两个节点之间的距离的平均值，即

$$L = \frac{1}{\frac{1}{2}N(N-1)} \sum_{i \geqslant j} d_{ij} \tag{5-5}$$

式中　$N$——网络节点总数。

## 5.2.2　复杂网络的经典传播模型

复杂网络中应用最广泛的经典传染病模型是 SIS 模型和 SIR 模型，关于它们的讨论和较新的研究进展可以在文献中找到。

### 1．SIS（Susceptible-Infected-Susceptible）模型

在 SIS 模型中存在两种状态，即易感状态（S）和感染状态（I）。感染状态的人群是某网络中病毒传播的源头，按照概率 $\lambda$ 向易感人群传播疾病，同时该个体也有概率 $\mu$ 被治愈；易感人群被感染后成为新的传染源，治愈后可以被重复感染。SIS 模型的感染机制可以用图 5-2 表示。

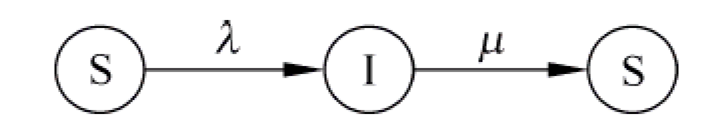



图 5-2　SIS 病毒传播模型

对于像肺结核、淋病这类治愈后患者也没有办法获得免疫能力的疾病，往往采用 SIS 模型来描述，患者被治愈后自动恢复为易感染状态。

如果用 $s(t)$、$i(t)$ 分别表示网络中节点处于 S 态和 I 态的个体占总数的比例，则在 SIS 模型中，疾病传播可以用式(5-6)来描述，即

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}s(t)}{\mathrm{d}t} = -\lambda < k > i(t)s(t) + \mu i(t) \\ \dfrac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t} = \lambda < k > i(t)s(t) - \mu i(t) \end{cases} \tag{5-6}$$

式中　$\lambda$——感染率；

$\mu$——恢复率；

$<k>$——网络中节点的平均度。

### 2．SIR（Susceptible-Infected-Recovered）模型

在 SIR 模型中存在 3 种状态，即易感态（S）、感染态（I）和恢复态（R）。易感态的个体在接触感染态的个体时，会以一定概率 $\lambda$ 被感染而成为感染态；处于感染态的个体一方面可以感染处于易感态的个体；另一方面会以概率 $\mu$ 被治愈而处于恢复态，同时具有了永久的免疫能力，而不会再次感染疾病或病毒，也不会传染给其他个体。SIR 模型的感

染机制可以用图 5-3 表示。



图 5-3　SIR 病毒传播模型

像麻疹、百日咳等这些易传染的疾病，感染态个体一旦被治愈则具有永久免疫能力或无法治愈而死亡，从而无法再感染其他处于易感态的个体，一般采用 SIR 模型来描述这类流行病的传播过程。这类流行病的传播过程一般采用 SIR 模型来描述。

假设 $\mu$ 为恢复率，$\lambda$ 为感染率，$s(t)$、$i(t)$、$r(t)$分别表示处于易感态 S、感染态 I 和恢复态 R 的节点数占网络中总节点数的比例，$\langle k\rangle$表示网络中节点的平均度，SIR 模型的动力学方程可以表述为式(5-7)，即

$$\begin{cases}\dfrac{\partial s(t)}{\partial t}=-\lambda<k>is\\ \dfrac{\partial i(t)}{\partial t}=\lambda<k>is-\mu i\\ \dfrac{\partial r(t)}{\partial t}=\mu i\end{cases}\tag{5-7}$$

## 5.2.3　复杂网络的传播阈值理论

在复杂网络传播动力学的研究中，传播阈值是理论和实验研究工作者特别关注的一个重要参量。如果流行病的传播概率大于该传播阈值，那么它将会爆发并且持续存在；否则将会自然消失。在复杂网络上，最近的理论和实验都表明流行病的传播阈值与网络系统的大小有着紧密的联系。而大部分的理论研究都是建立在网络系统的热力学极限条件上的，也就是将网络系统的尺寸看作是无限大的。因此，理论和数值研究的结论与实验的结果存在很大的差异。同时，也应该注意到，不同的真实系统通常具有不同的体系大小，并且其尺寸也将随时间在演化。因此，在不同的复杂网络上研究流行病传播阈值的有限尺度效应对于预测复杂体系中传染病暴发和流行等行为的发生有十分重要的意义。目前，复杂网络上流行病传播的研究主要集中在具有幂律型度分布的网络模型上。然而，对许多真实系统的统计研究表明，幂律型度分布的网络模型无法完全刻画真实系统所具有的众多统计特征。流行病阈值的有限尺度效应在其他典型的网络模型(如小世界网络模型和具有指数型度分布的网络模型)上也缺乏一个系统的研究。因此，在不同的网络模型上系统研究体系尺寸对传播阈值的影响，对于探讨真实复杂系统中传播特性具有指导意义。

由于真实网络的无标度特征，经典传播模型已经经历了一次大的整合。不过，在修正传播动力学方程的同时，人们很少涉及这些模型的微观传播机制。事实上，复杂网络的传播动力学行为不仅依赖于网络的结构，也很紧密地联系到微观传播机制。不同的微观传播机制将导致许多截然不同的传播特征。最近，Olinky 和 Stone 考虑到无标度网络中个体度的差异性，定义了度相关感染概率。在这种感染机制下，他们发现甚至对于具有无标度度分布的复杂网络，非零的流行病阈值能够出现。考虑更加真实的、细致的微

观传播机制对于了解真实复杂系统中流行病的传播行为显得尤其重要。

目前,理论分析和数值仿真研究的结果都表明,在无标度网络中,无论流行病的传染性是多么弱,流行病仍然能够爆发并且持续存在。这样一来,如何控制流行病的传播将是人们所面临的主要问题之一。然而,现有的免疫策略都存在一定的局限性。例如,随机免疫花费巨大,不经济;比例免疫和目标免疫因为需要全局的网络结构知识,从而导致执行困难。因此,如何设计经济而有效、并不需要全局网络结构知识的免疫策略去根除诸如社会和计算机系统中各种病毒的危害将是非常值得探索的问题。

## 5.3 多智能体仿真与仿真平台 AnyLogic

### 5.3.1 多智能体仿真

#### 1. Agent(智能体)与多智能体系统

自 20 世纪 90 年代以来,Agent 已成为计算机和人工智能领域研究的重要前沿。不同领域的专家在设计和开发 Agent 系统时,从各自视角和研究目的给出 Agent 不同的定义。多智能体仿真系统(Multi-Agent Simulation System,MASS)是由多个可计算的 Agent 组成的集合。每个 Agent 是对客观实体的抽象,能作用于自身和环境,并与其他 Agent 进行通信。通过 Agent 之间的合作,多 Agent 系统提高了系统的能力。

#### 2. 多智能体仿真系统建模过程

1) Agent 抽象

建立多智能体仿真模型,首先要明确系统边界和问题域,对系统进行 Agent 抽象,建立 Agent 类图。Agent 抽象的一般原则:将组成系统的每个实体都抽象为一个实体 Agent,根据研究(或应用)的需要,合理确定抽象的粒度,将异质的 Agent 分别形成相应的 Agent 类,而将同质的多个 Agent 的抽象归结为一个 Agent 类。

2) Agent 个体建模

建造 Agent 模型的方法按照模板结构不同可分为反应或反射型结构、认知或思考型结构、混合型结构三类。从当前的研究结果看,认知或思考型结构居主导地位,在管理系统建模中,混合型 Agent 结构更适合。

3) 多智能体模型的体系结构

建立由多个 Agent 组成的完整的系统模型,需要确定多智能体系统的体系结构,包括确定仿真模型中 Agent 的数量、通信渠道、协议和确定 Agent 之间的关联结构与协调规则,形成复杂的系统行为和人机交互。

### 5.3.2 仿真平台 AnyLogic

AnyLogic 支持几乎所有现有的离散事件和连续建模方法,如系统动力学、动态系

统、离散事件和基于 Agent 的建模，如图 5-4 所示。

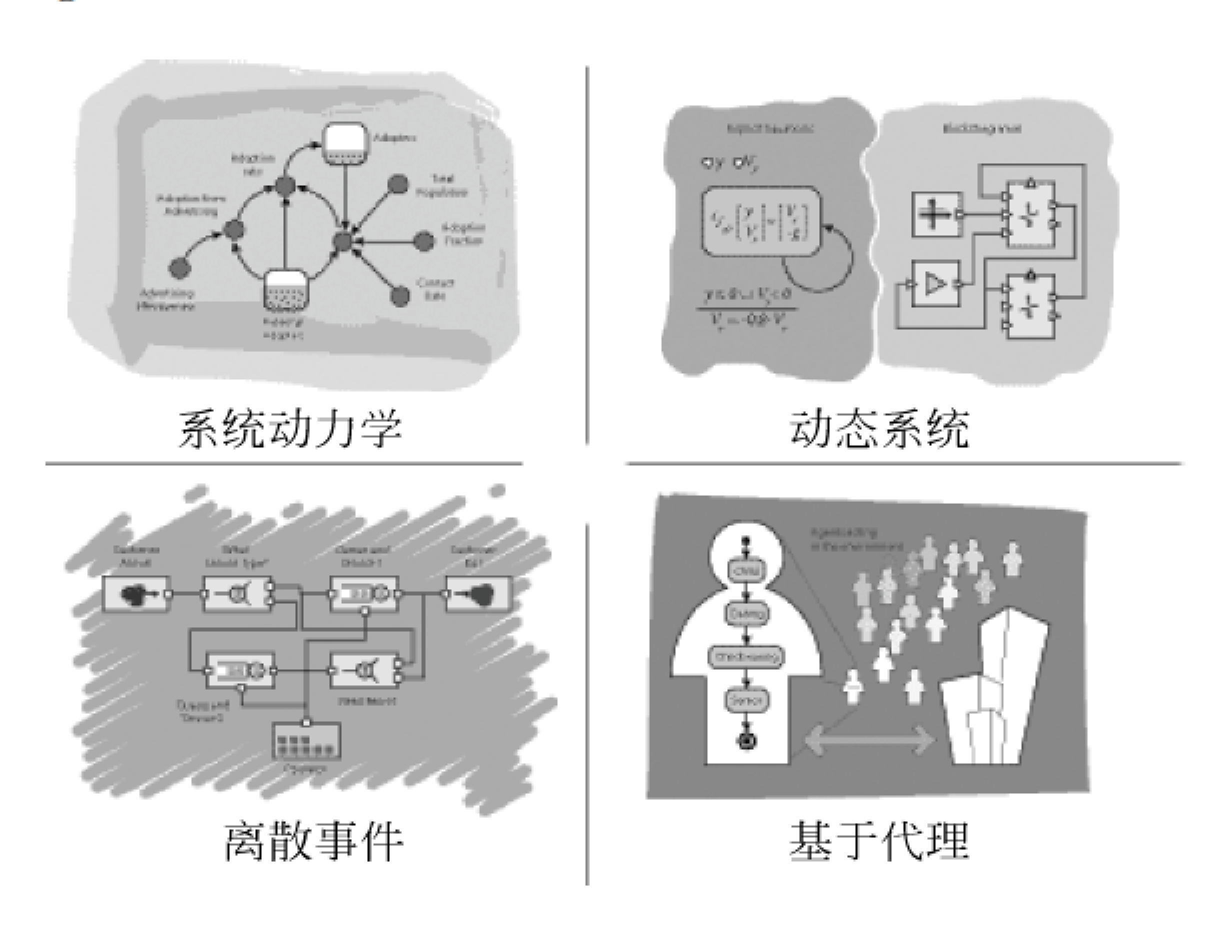



图 5-4　建模方法

AnyLogic 是基于复杂系统设计方法学的仿真软件。它使 UML 的功能进入仿真建模领域，基于 Java 平台和 Web 浏览器的 Java Applets 运行仿真模型，提供创建真实的动态模型的虚拟工具—动态变化的结构和互连的组件。AnyLogic 独创的动画框架让你能够迅速地在仿真的方式下构建起采用分级结构的精密复杂的互动式模型。AnyLogic 动画 100%使用 Java 语言。人们可以在 Internet 上对其进行访问或者使用 Java Applets 在网页浏览器上显示。图 5-5 显示了 AnyLogic 强大的建模技术。

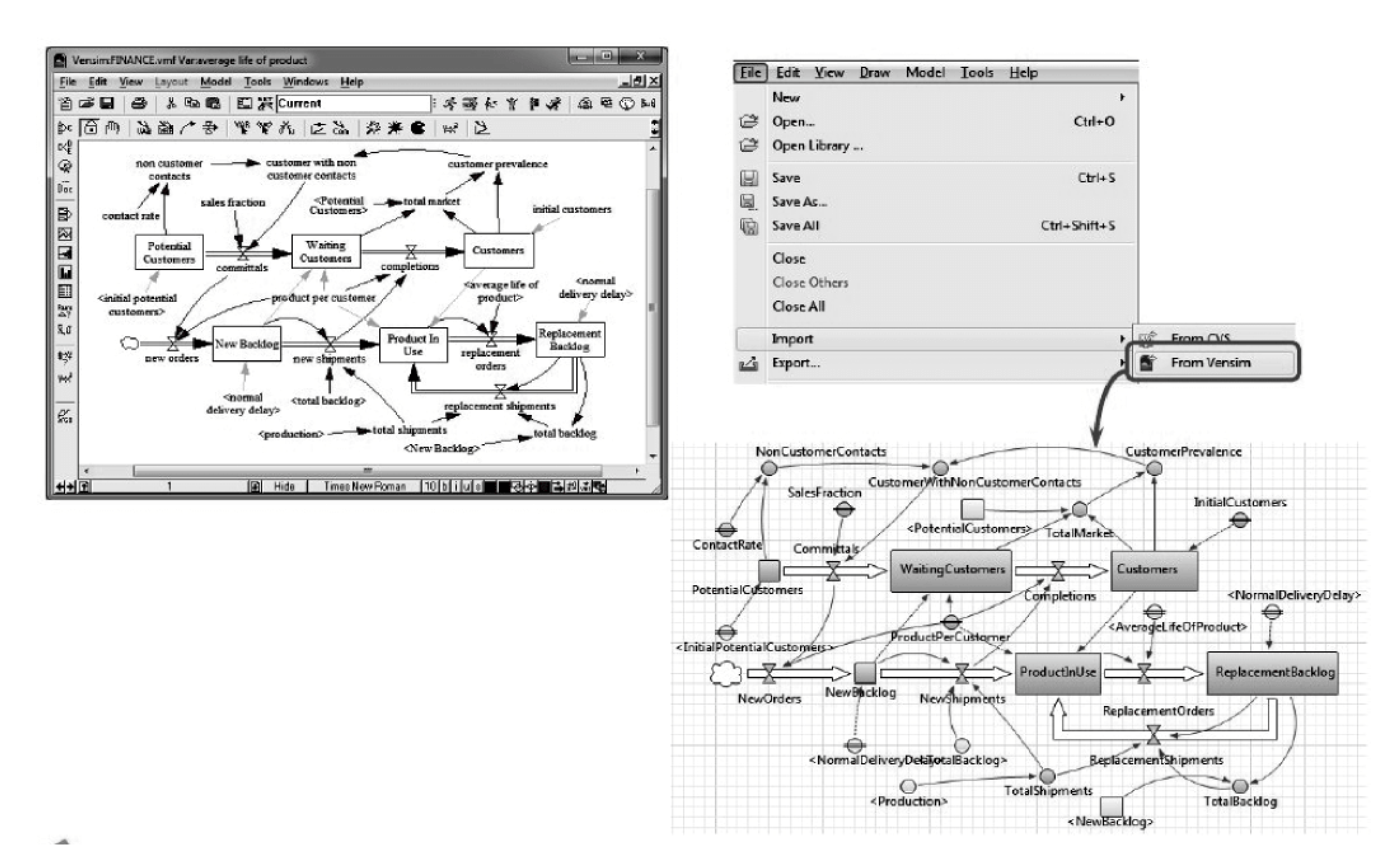



图 5-5　AnyLogic 强大的建模技术

# 5.4 OSD 模型

工作压力扩散指压力的分解、转移与传递等。高校组织的压力扩散如图 5-6 所示。

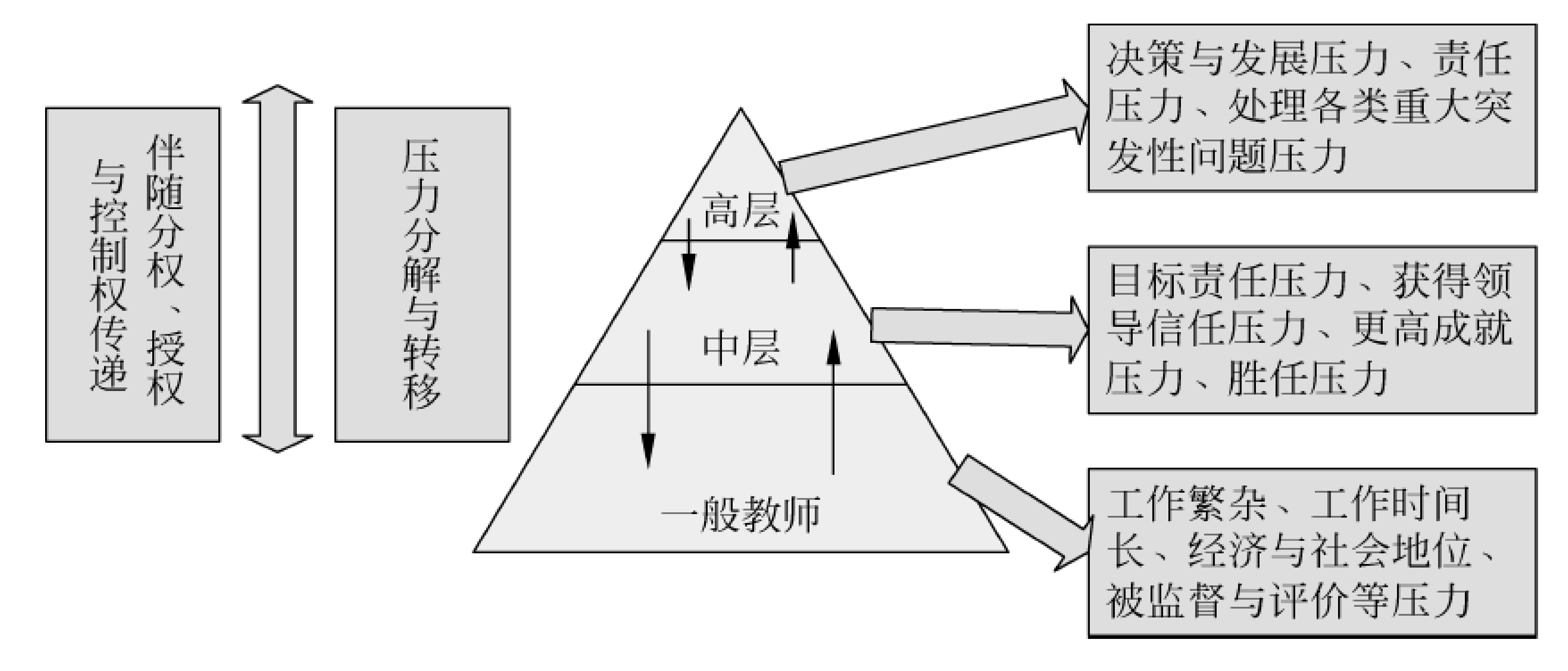



图 5-6　高校组织的压力扩散

在工作压力扩散模型中，参考了独立层叠模型和阈值模型的机制。在独立层叠模型中，Goldenberg 等仿真口碑在社会网络中的传播过程，其中通过强连接在同一个网络中传播，通过弱连接在网络之间传播。他们发现弱连接对信息传播的影响和强连接的作用是相似的。在阈值模型中，网络中的每一个节点都对应着相应的阈值，这些阈值服从某个概率分布；同时每个节点指定连接权重对应网络的每一条边。当个体的压力强度变化总和大于其阈值，该节点变换其状态。基于智能体仿真是现实社会到人造社会建模的工具，作为研究复杂现实系统的平台(吴江等，2008)。如图 5-7 所示，建立工作压力扩散模型(OSD 模型，Occupational Stress Diffusion Model)，它包括 4 个分图。

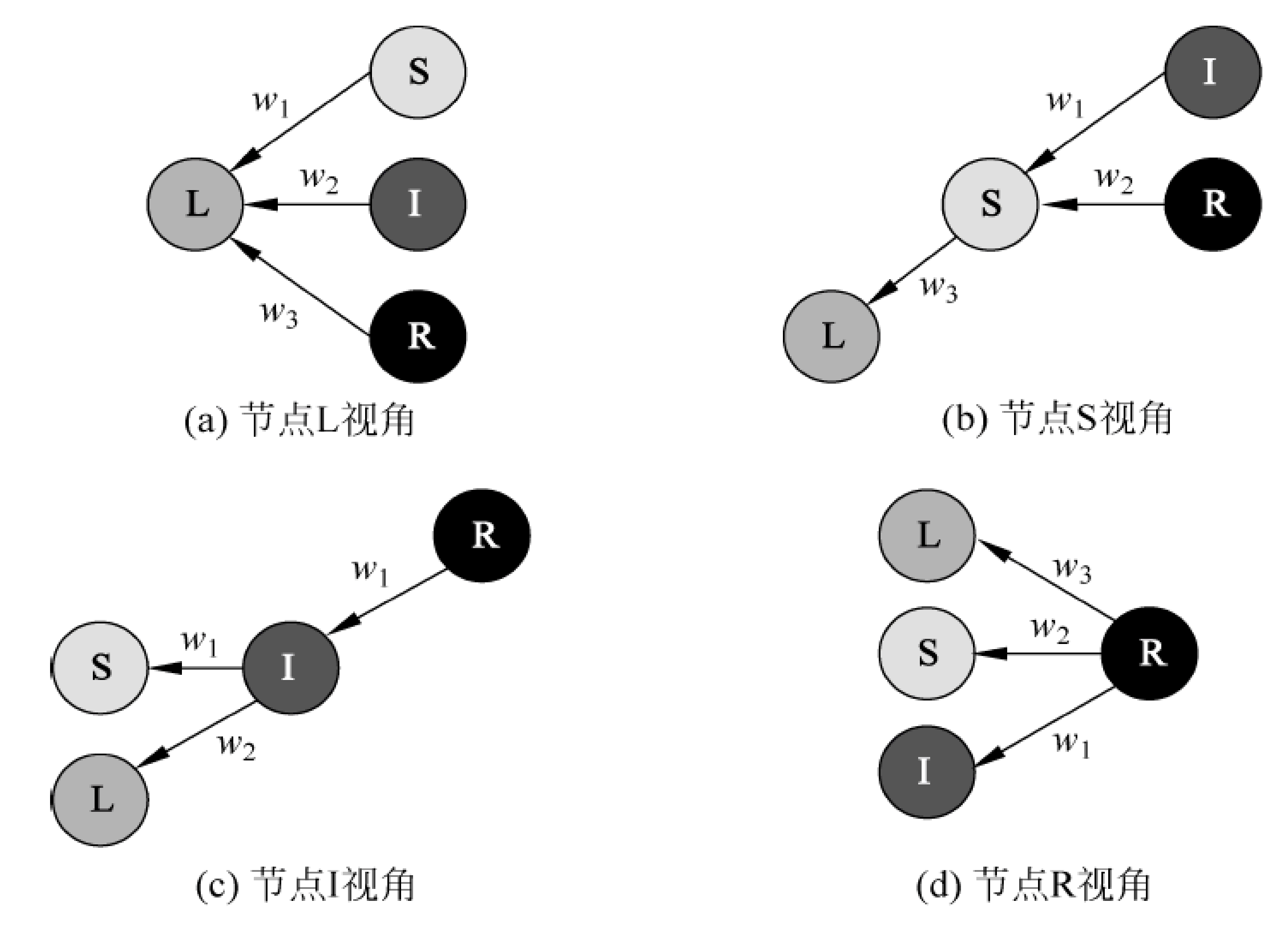



图 5-7　工作压力扩散模型

在图 5-7 中，传播影响系数 $w_i(i=1,2,3)$，$w_1<w_2<w_3$，$w_i\in(0,1)$。反映一个个体向另一个个体传播工作压力的影响力。压力状态有四种：L 状态指低强度压力状态，S 状态指中强度压力状态，I 状态指高强度压力状态，处于亚健康状态，R 状态指重度压力状态，身心健康将出现问题。

## 5.4.1　节点 L 视角

$$\Delta C_{j_{\mathrm{LS}}}(t)=1-(1-w_1)^{S_j(t)}(1-w_2)^{I_j(t)}(1-w_3)^{R_j(t)} \tag{5-8}$$

式中　$\Delta C_{j_{\mathrm{LS}}}(t)$——$t$ 时刻个体 $j$ 从 L 状态向 S 状态变化的压力强度的改变量；

$S_j(t)$——直接和个体 $j$ 相连的 S 状态的个体的数量；

$I_j(t)$——直接和个体 $j$ 相连的 I 状态的个体的数量；

$R_j(t)$——直接和个体 $j$ 相连的 R 状态的个体的数量；

$L_j(t)$——直接和个体 $j$ 相连的 L 状态的个体的数量。

当 $L$ 状态的个体接收到来自更高压力状态个体的压力时，其压力强度将以一定的速度增加。如果 $\Delta C_{j_{\mathrm{LS}}}(t)$大于某个特定的传播阈值 $U_j$，个体 $j$ 将由 L 状态转变到 S 状态；否则，保持以前的状态不变。表 5-1 解释了该阈值。传播阈值 $U_j$ 是服从均匀分布 $U(T,1)$的随机数，这里的 $T$ 是扩散阈值，扩散阈值受压力控制的影响，它的变化是全局的，会影响社会网络中所有个体。

## 5.4.2　节点 S 视角

$$\Delta C_{j_{\mathrm{SL}}}(t)=1-(1-w_1)^{L_j(t)} \tag{5-9}$$

$$\Delta C_{j_{\mathrm{SI}}}(t)=1-(1-w_1)^{I_j(t)}(1-w_2)^{R_j(t)} \tag{5-10}$$

如果 $\Delta C_{j_{\mathrm{SL}}}(t)>\Delta C_{j_{\mathrm{SI}}}(t)$，且 $\Delta C_{j_{\mathrm{SL}}}(t)-\Delta C_{j_{\mathrm{SI}}}(t)>U_j$，个体 $j$ 将由 S 状态转变为 L 状态；否则，保持以前的状态不变。如果 $\Delta C_{j_{\mathrm{SL}}}(t)<\Delta C_{j_{\mathrm{SI}}}(t)$，且 $\Delta C_{j_{\mathrm{SI}}}(t)-\Delta C_{j_{\mathrm{SL}}}(t)>U_j$，个体 $j$ 将由 S 状态转变为 I 状态；否则，保持以前的状态不变。

## 5.4.3　节点 I 视角

$$\Delta C_{j_{\mathrm{IS}}}(t)=1-(1-w_1)^{S_j(t)}(1-w_2)^{L_j(t)} \tag{5-11}$$

$$\Delta C_{j_{\mathrm{IR}}}(t)=1-(1-w_1)^{R_j(t)} \tag{5-12}$$

如果 $\Delta C_{j_{\mathrm{IS}}}(t)>\Delta C_{j_{\mathrm{IR}}}(t)$，且 $\Delta C_{j_{\mathrm{IS}}}(t)-\Delta C_{j_{\mathrm{IR}}}(t)>U_j$，个体 $j$ 将由 I 状态转变为 S 状态；否则，保持以前的状态不变。如果 $\Delta C_{j_{\mathrm{IS}}}(t)<\Delta C_{j_{\mathrm{IR}}}(t)$，且 $\Delta C_{j_{\mathrm{IR}}}(t)-\Delta C_{j_{\mathrm{IS}}}(t)>U_j$，个体 $j$ 将由 I 状态转变为 R 状态；否则，保持以前的状态不变。

## 5.4.4　节点 R 视角

$$\Delta C_{j_{\mathrm{RI}}}(t)=1-(1-w_1)^{I_j(t)}(1-w_2)^{S_j(t)}(1-w_3)^{L_j(t)} \tag{5-13}$$

如果 $\Delta C_{j_{\mathrm{RI}}}(t)$大于传播阈值 $U_j$，个体 $j$ 将由 R 状态转变为 I 状态；否则，保持以前的状态不变。

## 5.5 实验设计、确认与结果

本章采用定性确认方法，其确认步骤设计如下。

(1) 描述一个高校示例。

(2) 基于该示例，组合不同的压力管理(不同的扩散阈值)、网络拓扑结构、组织的初始压力分布，形成多个实验方案。

(3) 运行每个方案，得到教师低、中、高等工作压力状态比例。

(4) 将输入/输出与组织行为学进行比较，如果与常识相符，说明 OSD 模型是合理的，确认通过；否则，确认不通过。

基于智能体建模是基于个体特征和行为，并在模型中建立个体特征和行为的映射。个体被映射为智能体，个体的特征被映射为智能体的属性，个体的行为被映射为智能体的行为。计算机模型中的智能体就是社会网络的节点，代表真实社会网络中一个个的人。根据工作压力传播模型，智能体彼此相互作用传播压力。利用蒙特卡洛仿真方法对模型进行仿真；在内部程序中它是一个相互作用的过程；每次循环中，参数和状态都要进行初始化。仿真通过著名仿真软件 AnyLogic 6 和 MATLAB 7.0 实现。社会网络中的工作压力演化如图 5-8 所示。该图是在一个中等强度压力组织网络中初始压力状态分布图。相应地，S 状态个体数(黄色节点)占总数的 60%。

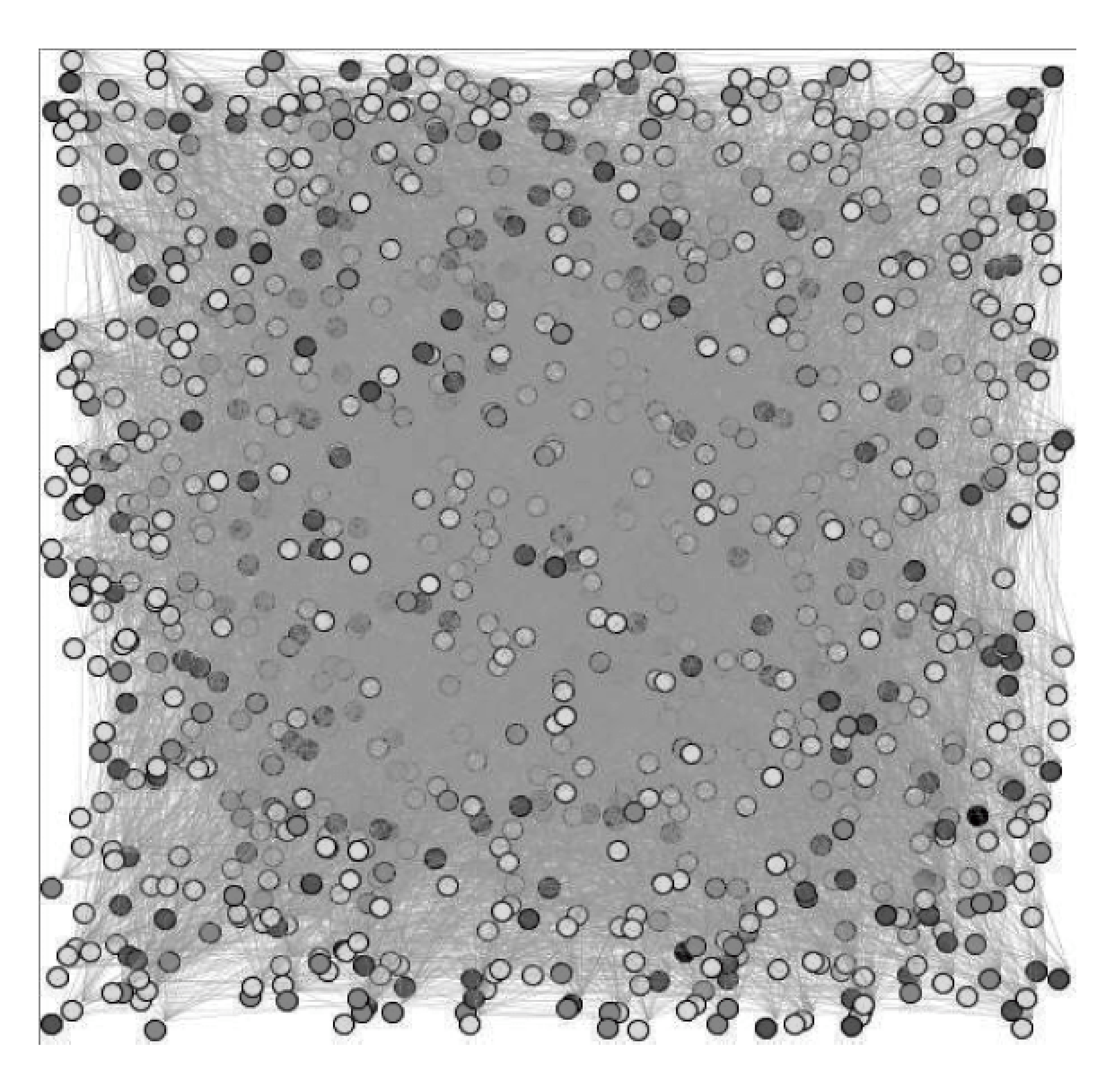


图 5-8 社会网络中工作压力演化

如表 5-1 所示，设计 5 个输入参数来运行仿真模型。相对应地，如表 5-2 所示，仿真系统运行结果可以由 5 个输出测量指标来观察工作压力传播的动力学。

表 5-1　仿真模型的输入参数

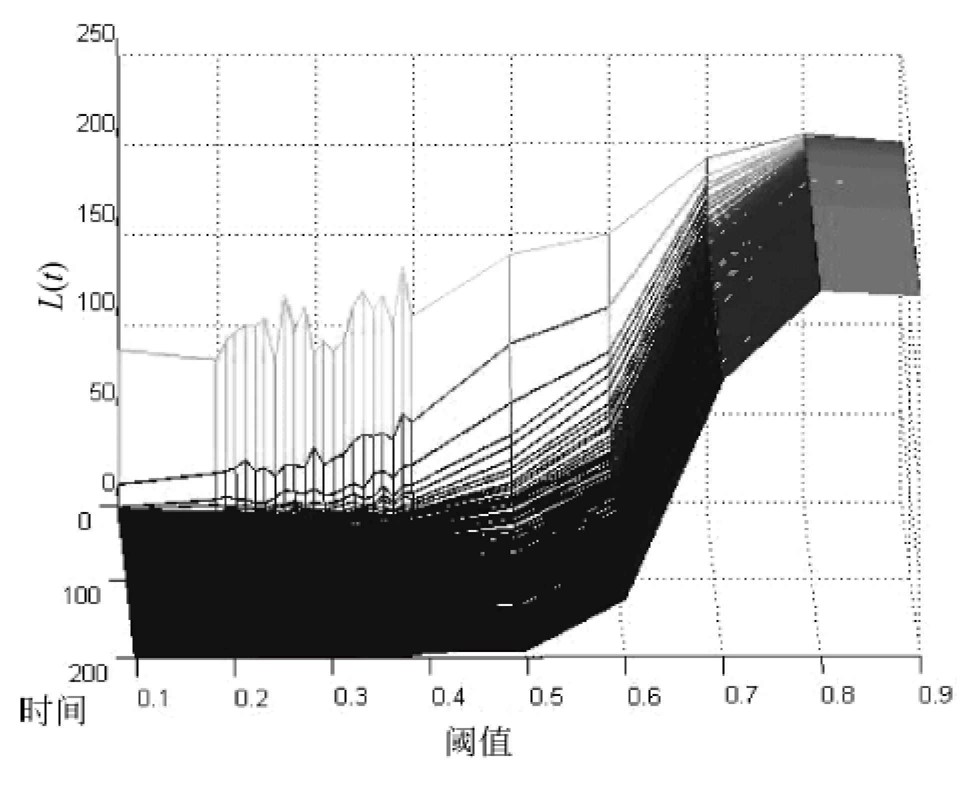
| 输 入 参 数 | 值 | 解　　释 |
|---|---|---|
| Node Size | 1000 | 节点规模，社会网络中节点总数 |
| Diffusion Threshold | $T=0.1, 0.2, \cdots, 0.9$<br>$U_j \in U(T,1)$ | 扩散阈值 $T$，用来限定传播阈值 $U_j$，$U_j$ 服从$(T,1)$的均匀分布 |
| Network Type | 随机网络、小世界网络、无标度网络 | 网络类型，真实世界中不同的网络结构 |
| Influence Coefficient | $w_i \in (0,1), i=1,2,3$<br>and $w_1 < w_2 < w_3$ | 影响系统，反映不同工作压力影响力，与两个节点间的压力状态的能级距离有关 |
| Initial Stress Distribution | L_NO∈(0,1)，S_NO∈(0,1)，<br>I_NO∈(0,1)，R_NO∈(0,1)，<br>and L_NO+S_NO+I_NO+ R_NO=1 | 初始压力分布，社会网络中的初始压力分布 |

表 5-2　仿真模型的输出测量指标

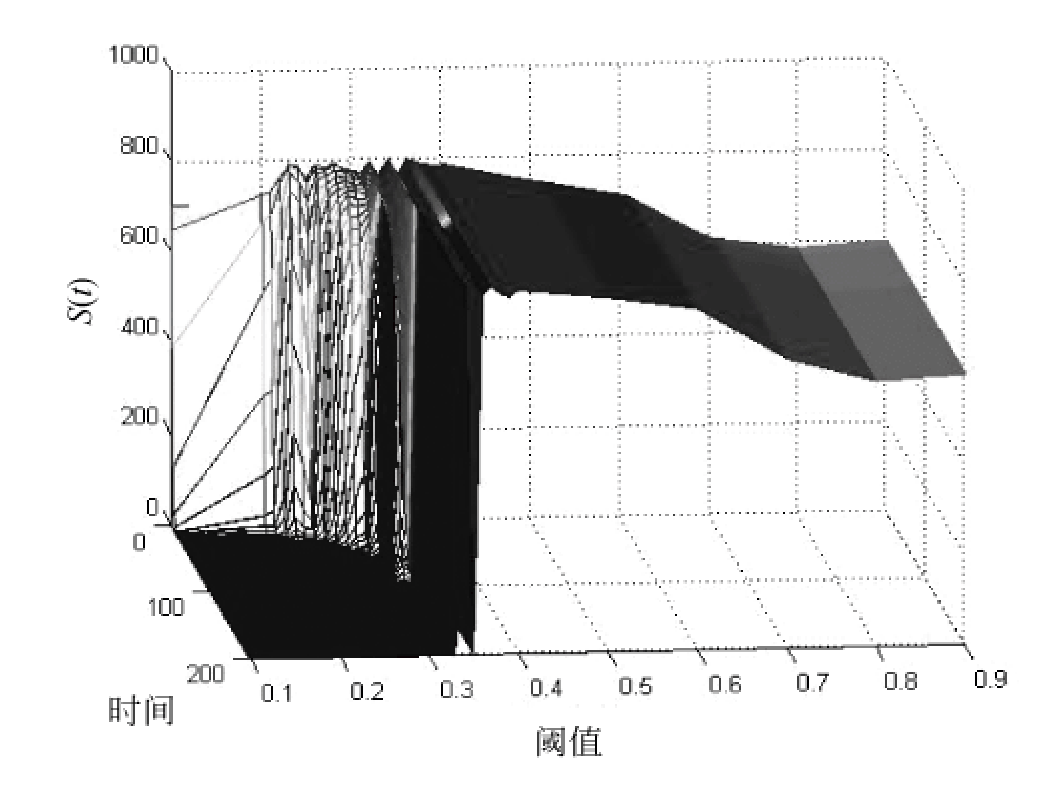
| 输　　出 | 解　　释 |
|---|---|
| Cascading Time | 层叠时间，压力扩散中层叠耗费的时间；每层叠一次，耗费时间加 1 |
| $L(t)$ | $t$ 时刻 L 状态教师占总数比例 |
| $S(t)$ | $t$ 时刻 S 状态教师占总数比例 |
| $I(t)$ | $t$ 时刻 I 状态教师占总数比例 |
| $R(t)$ | $t$ 时刻 R 状态教师占总数比例 |

## 5.5.1　扩散阈值对工作压力扩散的影响

如图 5-9 所示，随机网络中不同阈值的工作压力传播的情景。参数设定为：Size＝1000，$w_1=0.05$，$w_2=0.09$，$w_3=0.12$，time＝100，L_NO＝0.2，S_NO＝0.6，I_NO＝0.198，R_NO＝0.002。

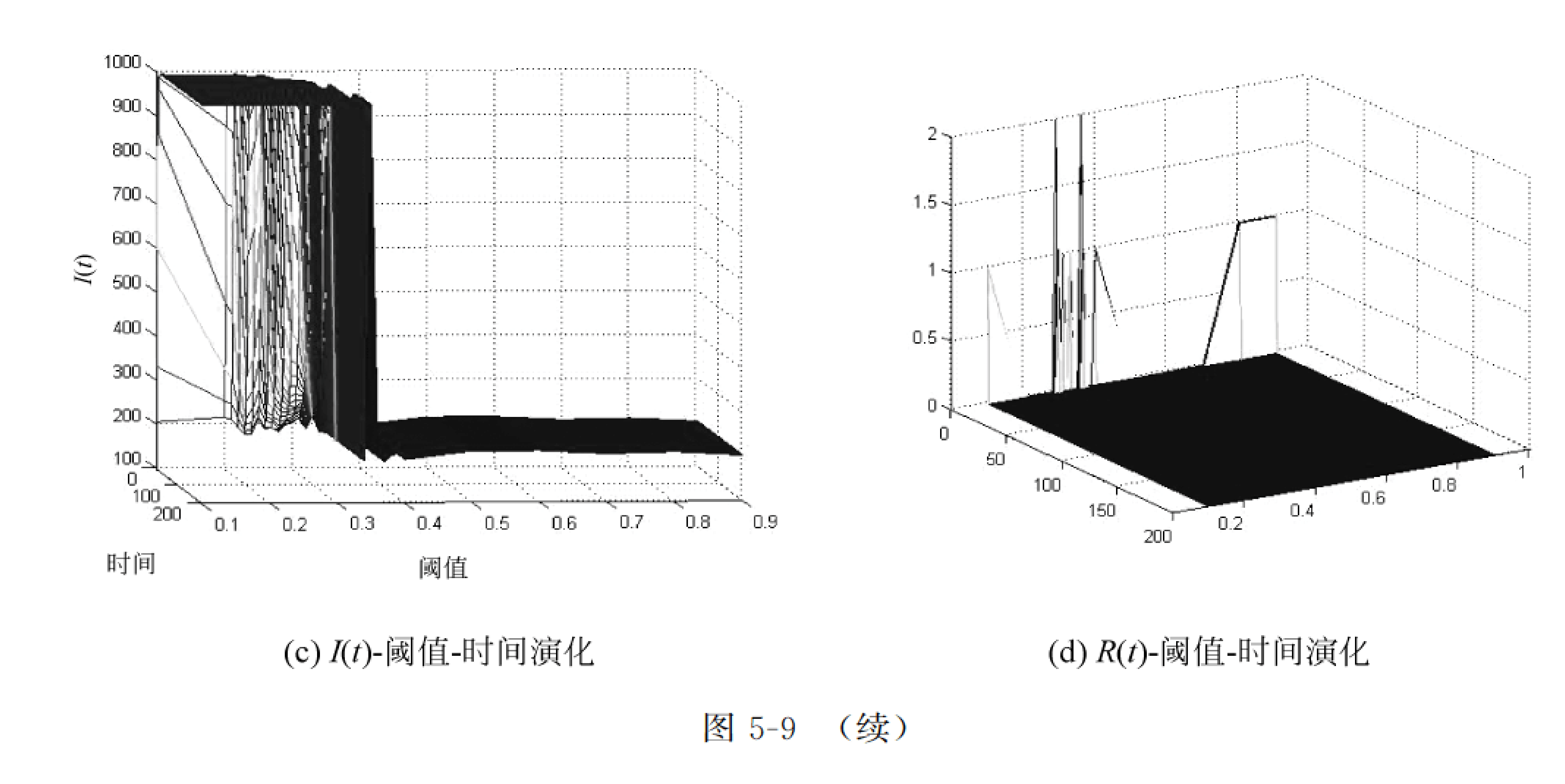



(a) $L(t)$-阈值-时间演化




(b) $S(t)$-阈值-时间演化

图 5-9　扩散阈值对工作压力传播的影响



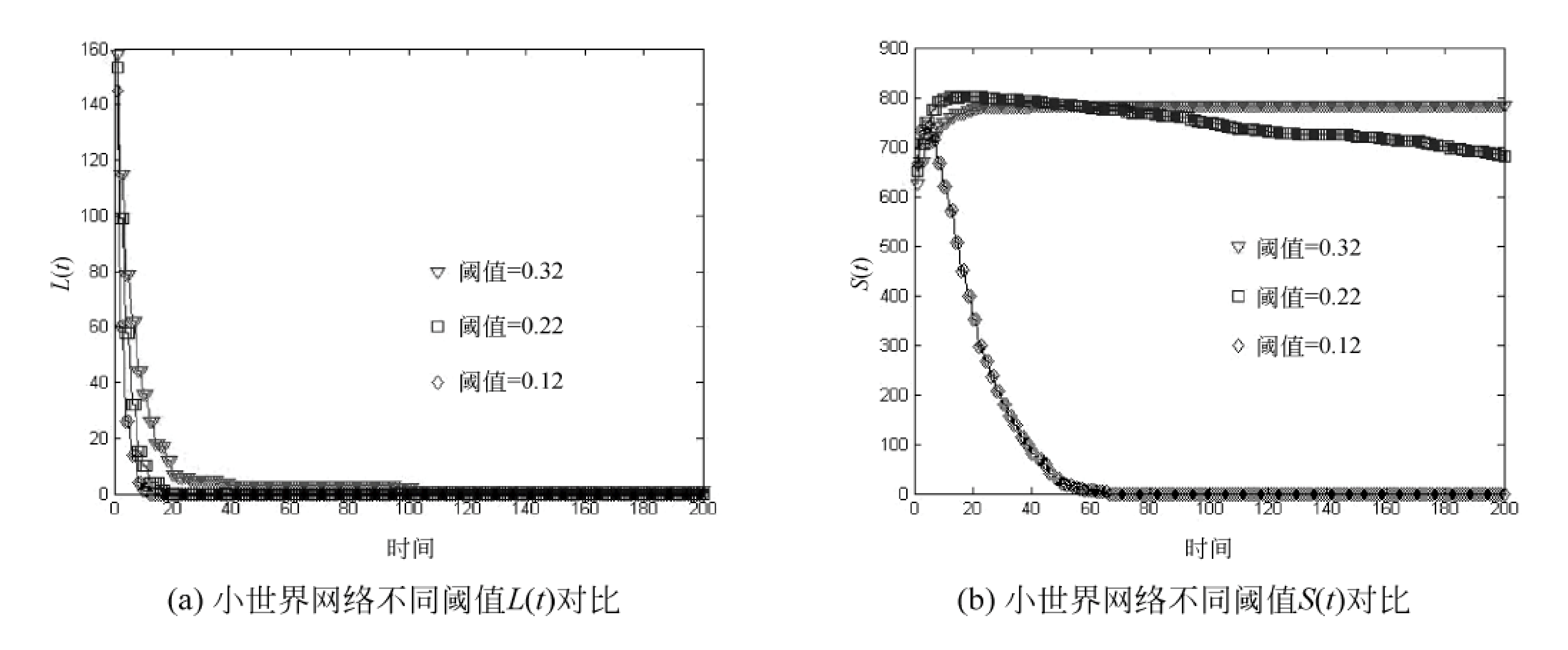

(c) $I(t)$-阈值-时间演化　　(d) $R(t)$-阈值-时间演化

图 5-9 （续）

该图显示压力控制是调整 L、S、I 状态个体数的合适策略，0.3～0.4 存在一个阈值，减压后高压人数减少，中压人数增多，符合社会常识。结果说明 OSD 模型通过确认，并且组织的工作压力管理是重要和有效的。

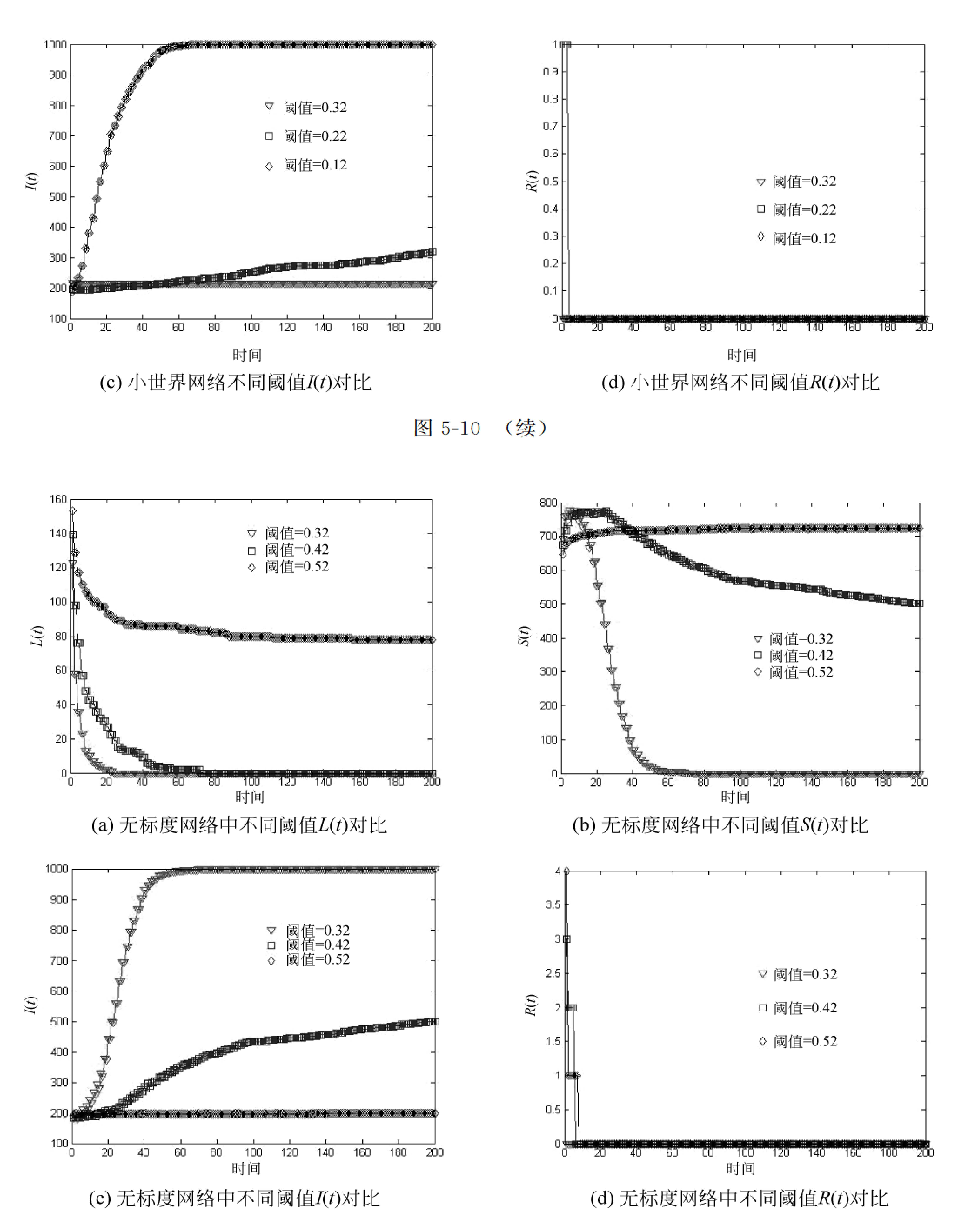
## 5.5.2 网络拓扑结构类型对工作压力扩散的影响

图 5-10 和图 5-11 显示不同阈值下小世界网络、无标度网络中工作压力传播的情景。输入参数设定为：Size＝1000，$w_1$＝0.05，$w_2$＝0.09，$w_3$＝0.12，time＝100，L_NO＝0.2，S_NO＝0.6，I_NO＝0.198，R_NO＝0.002。




(a) 小世界网络不同阈值$L(t)$对比　　(b) 小世界网络不同阈值$S(t)$对比

图 5-10　小世界网络对工作压力传播的影响




(c) 小世界网络不同阈值$I(t)$对比　　(d) 小世界网络不同阈值$R(t)$对比

图 5-10 （续）

(a) 无标度网络中不同阈值$L(t)$对比　　(b) 无标度网络中不同阈值$S(t)$对比

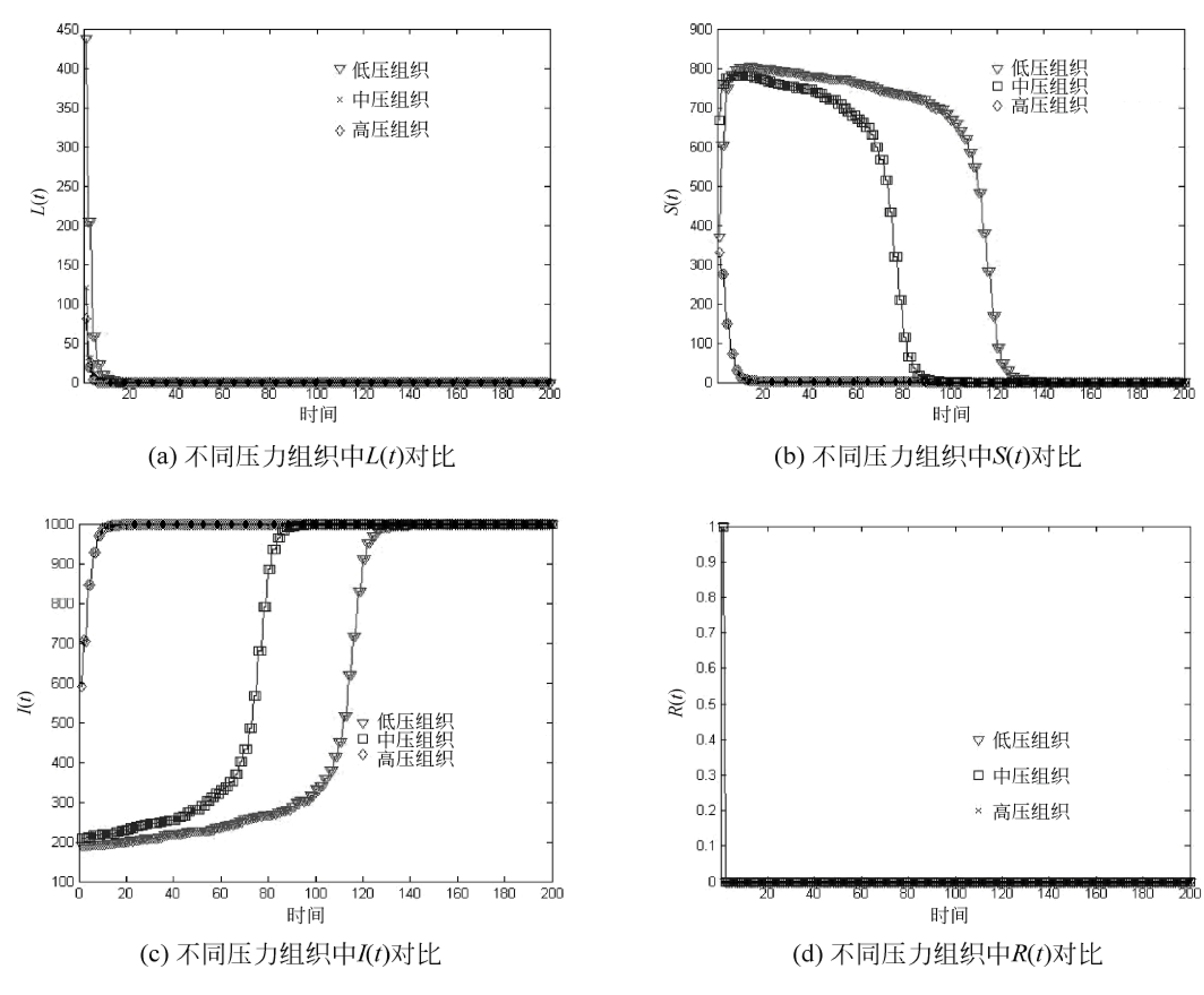
(c) 无标度网络中不同阈值$I(t)$对比　　(d) 无标度网络中不同阈值$R(t)$对比

图 5-11　无标度网络对工作压力传播的影响

该方案显示小世界网络结构比无标度网络结构拥有更小的扩散阈值，小世界网络如爱校如“家”的高校文化下，比满足 Power law 的无标度网络的高校，对工作压力管理反应更敏捷，符合社会常识，说明该模型通过确认。同时，需关注组织压力结构的变化。

## 5.5.3 组织的初始压力分布对工作压力扩散的影响

图 5-12 显示随机网络中不同的初始压力分布下工作压力传播的情景。参数设定为：Size＝1000，$w_1=0.05$，$w_2=0.09$，$w_3=0.12$，时间＝100，阈值＝0.32。




(a) 不同压力组织中$L(t)$对比　(b) 不同压力组织中$S(t)$对比

(c) 不同压力组织中$I(t)$对比　(d) 不同压力组织中$R(t)$对比

图 5-12　低、中、高压组织对工作压力传播的影响

在低压组织，L_NO＝0.6，S_NO＝0.2，I_NO＝0.198，R_NO＝0.002。

在中压组织，L_NO＝0.198，S_NO＝0.6，I_NO＝0.2，R_NO＝0.002。

在高压组织，L_NO＝0.198，S_NO＝0.2，I_NO＝0.6，R_NO＝0.002。

该结果显示低、中、高压组织在压力源和压力管理作用下，达到新的平衡，低压和中压组织比高压组织具有更强的稳定性，符合社会常识。该模型通过定性确认。

## 5.6　本章小结

对以上结果进行分析得出以下结论。

(1) 的确存在压力管理阈值——主要的模型参数,扩散阈值 $T$,该值受教师压力管理的影响,它的变化是全局的,会影响高校中的所有教师。工作压力管理的作用是提高所有教师的压力传播忍耐度,即提高扩散阈值 $T$。当 $T$ 小于某个值(如 0.3)时,社会网络中大多数教师的压力状态将转换为 I 状态,即工作压力为高压状态。高校中所有教师的压力忍耐度较低,组织的压力管理水平也较低。这正是中国高校现状的真实写照,统计数据也说明了这一点,更为严重的是,中国高校的许多教师对压力管理知识一无所知,或者不予重视。当 $T$ 大于某个值(如 0.4)时,某社会网络中的大多数教师的压力状态将转换为 S 状态,即工作压力为中压状态,该状态是高校最适合的。随着 $T$ 值的增大,S 状态的个体数量会缓慢下降,并达到一个平衡值,显然减少的 S 状态个体变成了 L 状态个体,处于低压状态。仿真数据显示压力管理强度并不是越大越好,以略大于临界值为佳。

(2) 需关注组织压力结构的变化,并采取合适的措施维持中等压力状态,以保持教师的身心健康,个体工作的积极性和组织的稳定性。小世界网络和随机网络的临界值相近,而无标度网络的临界值远大于前者。因此,高校组织结构最好是小世界网络结构,即大的聚类系数和小的平均距离。这个结构的典型示例是家庭和朋友圈,美国微软公司的压力管理策略中重要的一个是“家”的理念。

(3) 组织中工作压力总会达到平衡,其确定性说明组织的自适应能力,特别低压组织比高压组织具有更强的鲁棒性。从理论上讲,应该建设低压校园,其实最佳目标是中压校园,不仅鲁棒性强,而且工作绩效高,当然要减少不必要的压力,如校园环境优美,组织文化和谐、自由,有家庭般的归属感。

OSD 模型也存在不足,工作压力的扩散是双向的,本模型简化为单向、加权的复杂网络,这与实际情况略有不同,对工作压力传播的进一步研究将在以后的书中进行总结。

C H A P T E R 6

# 第 6 章 高校工作压力对教师群体行为影响的研究

## 6.1 引言

20 世纪 80 年代,《人工智能》杂志相继提出一系列面向物理系统的定性仿真方法,其中已被广泛运用的是定性仿真方法(Qualitative SIMulation,QSIM)和因果推理方法(Causal Reasoning,CR)。但在社会和管理领域,系统仿真的研究和运用却不多见。复杂管理系统的复杂在于"人"的因素、外部环境、内部组织文化和管理措施等因素的交叉影响,很难建立定量的数学模型,甚至无法建立传统的模型,于是,定性仿真方法成为不错的选择。

本章目的在于研究高校工作压力对教师群体工作行为的影响,综合运用定性仿真的 QSIM 算法和 CR 方法(在 1.3 节有介绍)以及 BP(Back Propagation,反向传播)神经网络算法,建立 OEQS 模型(Oscillation-Equilibrium Qualitative Simulation Model)。

6.2 节总结教师群体的特征,6.3 和 6.4 节分别介绍方法描述、状态转换规则、过滤原理和在定性仿真引擎统一驱动下建立 OEQS 模型。6.5 节对模型进行了确认,6.6 节应用 OEQS 模型就高校工作压力对教师群体行为的影响进行了仿真研究,结论证明该模型可以作为辅助决策工具。最后进行了小结。

## 6.2 教师群体的特征

### 1. 渐变—突变特征

教师行为主要反映在群体形式而非个体形式,即使教师个体行为可能

突变，带有很大不定性，然而教师群体行为却通常表现为渐变的过程，因为当一个群体面对环境的变化，他们一般观望、相互经过讨论再进行决策。因此，群体行为变化先是渐变，一段时间后，再表现出突变。根据组织行为学理论，其变化过程的规律是可以把握的。

### 2. 因果特征和系统特征

教师群体的行为特征受内外环境的影响表现出复杂性。如图 6-1(a)所示，工作压力环境为变量 $A$，教师的行为特征为变量 $B$，因果关系用 $w$ 表示，可以对教师行为的变化产生影响。如图 6-1(b)所示，教师行为变量 $B$ 也可能受自身影响，出现自反馈，$w'$ 为 $B$ 自身的反馈关系。

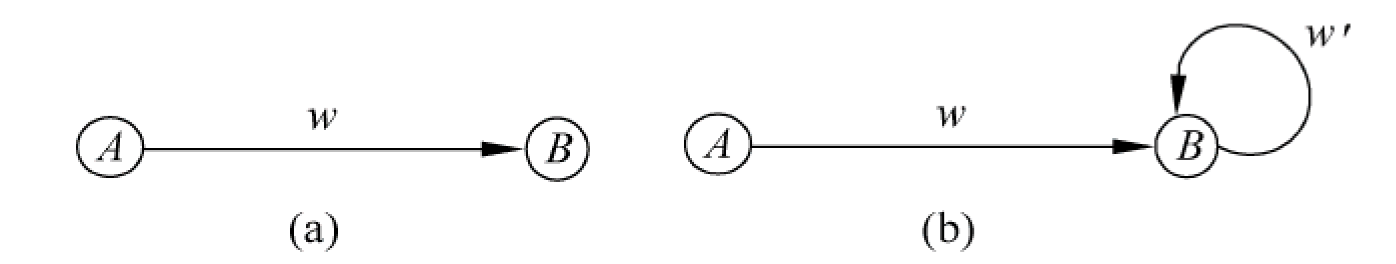



图 6-1　教师行为的因果关系

图 6-2 说明了教师群体系统构成。

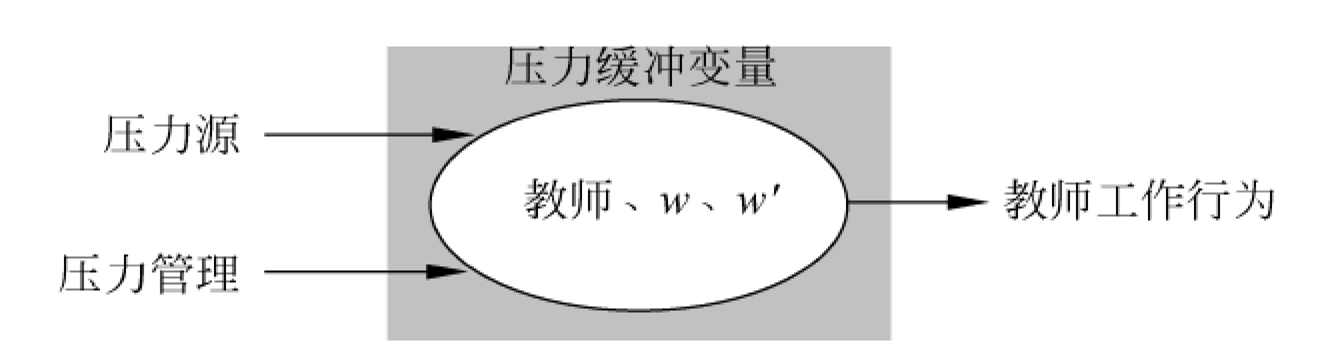



图 6-2　教师群体系统示意图

压力源和压力管理作为系统的输入，教师工作行为看作系统的输出，压力缓冲变量是教师的内部环境，对系统结构是有影响的。压力源、压力缓冲变量、压力反应和压力管理等概念见第 4 章。教师工作压力源包括教育改革带来的冲击、学校管理考核制度、工作负荷和时间、专业发展、人际关系和学生表现。压力缓冲变量指教师所具备的对压力具有一定的调节或缓冲作用的一些特性，这些调节因素包括压力容忍力、认知评价、社会支持、坚强性格、控制感和人格等。压力反应包括教师生理反应、教师心理反应和教师行为反应。本章主要研究教师的工作行为。压力管理主要是高校组织对教师群体采取的减压或增压措施，使教师保持良好的压力反应。

### 3. 振荡—均衡特征

教师行为特征的变化过程如图 6-3 所示。教师处在一个由高校文化和主流价值形成的特定的社会场中，其行为受到社会场核心引力的吸引，如果其距离社会场核心越近，即其行为越接近社会场的要求，则其越觉得能被组织接受，心理就越觉得有安全感。这是从“社会人”的角度对教师行为变化的原因进行分析。

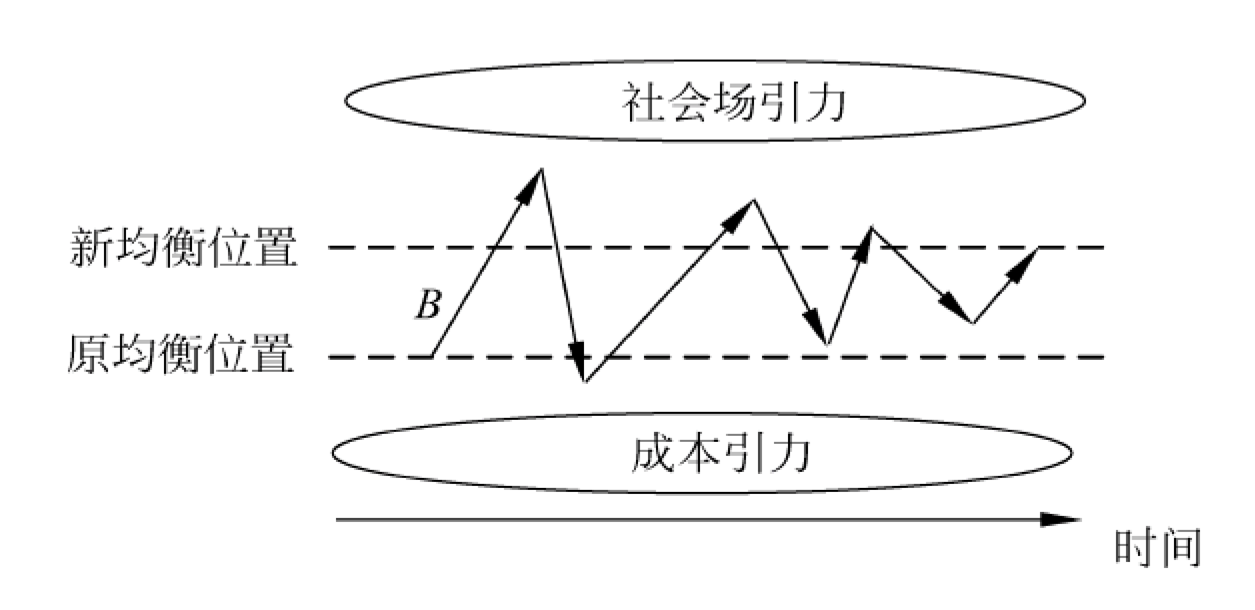



图 6-3　教师行为变化过程示意图

另外，教师还要从经济角度衡量其行为价值，因为其行为表现是要付出一定代价的，肯定希望付出最少，即最低成本，这是从“经济人”的角度对教师行为变化的原因进行分析。然而现实高校中，对于教师而言，经济利益引力和社会场引力两者不可能一致，是来自两个不同方向。经济利益引力代表教师的利益，而社会场引力代表组织的利益，因此，教师行为在这两种引力作用下，便形成了图 6-3 所示的行为上下波动的过程。图中虚线表示均衡位置，随着内外环境的变化，均衡位置是动态变化的。本来在高校内外环境未发生变化时，教师也习惯于平时一贯的做法，不做出改变时，教师的行为处于一种均衡状态，然而，事物不可能永远不变，当内外环境改变，即打破了原有的均衡时，使得教师的行为发生了上下波动，寻找到新的均衡状态。

## 6.3　OEQS 模型

OEQS 模型包括 4 个组件，如图 6-4 所示。第一个组件是相关表述，即各种变量、作用关系和引力的表述；第二个组件是转换规则；第三个组件是过滤原理；第四个组件是定性仿真引擎，驱动其他 3 个组件的运行。压力源、压力管理作为输入，通过 OEQS 模型的运行并产生输出，即教师工作行为。

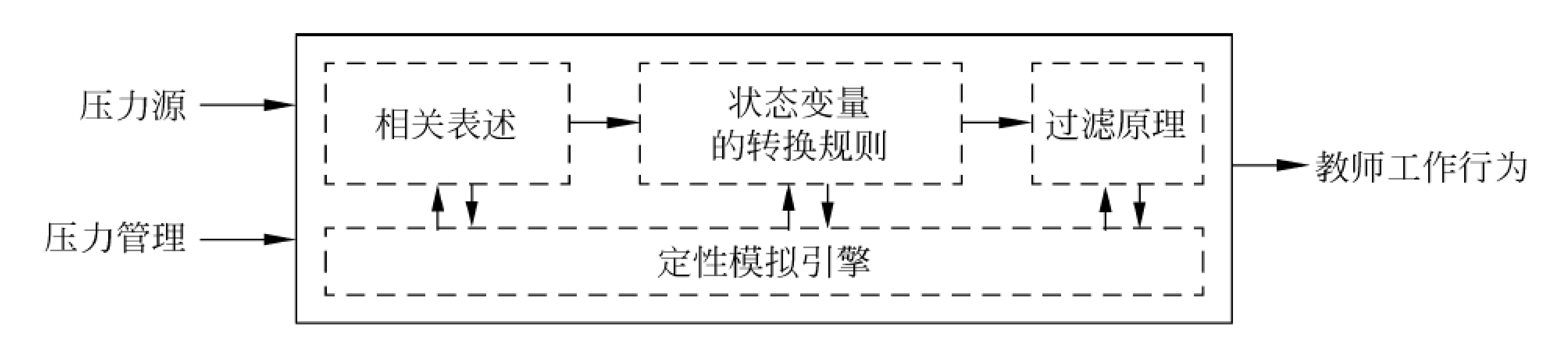



图 6-4　基于振荡—均衡的教师群体行为的定性仿真模型

### 6.3.1　相关表述

#### 1. 变量及表述

变量有压力源变量、压力管理变量、状态变量和成本变量。

设 $E$ 为压力源变量集，$E=\{e_1,e_2,\cdots,e_n\}$，压力源变量用来描述高校教师所处的外部压力环境的变化，如教育改革带来的冲击、学校管理考核制度、工作负荷和时间、专业发展、人际关系和学生表现等方面，这些变化会对高校教师行为产生影响。如职务职称改革、科研考核、竞争上岗、挂牌上课、人员分流等，对教师行为就有影响，因为这可能造成高校教师长期处于高压状态，身体处于亚健康状态，心理压抑、焦躁，工作倦怠或离职，表现为其工作绩效的降低。

设 $D$ 为压力管理变量集，$D=\{d_1,d_2,\cdots,d_m\}$，用来描述高校制订的对教师有影响的压力管理方案，如建立民主、平等、和谐、创新的高校校园文化，以人为本，关心教师的职业发展，开展教师帮助计划，改善教师工资待遇等。

设 $X$ 为状态变量集，$X=\{x_1,x_2,...,x_p\}$，描述教师工作行为特征的变化。

设 $C$ 为成本变量集，$C=\{c_1,c_2,\cdots,c_q\}$，描述教师为了维持 $X$ 状态所要花费的代价。对 $X$ 和 $C$ 进行 BP 神经网络训练处理可得到图 6-4 中社会场引力和成本引力的大小。

对变量的表示，借鉴文献的方法，并进行了改进。可用 $\mathrm{QS}(f,t_i)$ 和 $\mathrm{QS}(f,t_i,t_{i+1})$ 的形式，分别表示变量 $f$ 在时间点 $t_i$ 和时间区间 $(t_i,t_{i+1})$ 的值。

对于状态变量 $X$，QS 是一个三元组$<\mathrm{qval},\mathrm{qdir},\mathrm{qdt}>$，qval 表示 $f$ 的量，其值如式(6-1)。

$$\mathrm{qval}=\begin{cases} l_k & f(t)=l_k \\ (l_k,l_{k+1}) & f(t)=(l_k,l_{k+1}) \end{cases} \tag{6-1}$$

$l_k\in\{-0.9,-0.6,-0.3,0,0.3,0.6,0.9\}$，其对应的模糊量词分别为“很低”“低”“较低”“一般”“较高”“高”和“很高”，相应的 $k\in\{1,2,3,4,5,6,7\}$。qdir 是 $f$ 的变化方向，$\mathrm{qdir}=\{-,0,+\}$。qdt 是 $f$ 的变化时间，即 $f$ 在 qdir 的方向上延迟的时间，$\mathrm{qdt}=\{1,2\}$，“1”和“2”分别表示短和长时间。

在时间点 $t_i$，$X$ 处于稳定状态(如在 $i=0$ 的初始时刻 $X$ 处于均衡状态)，因此，$\mathrm{QS}(f,t_i)=<\mathrm{qval},0,0>$。而在时间区间 $(t_i,t_{i+1})$，$X$ 处于变化过程，例如，$\mathrm{QS}(x_1,t_i,t_{i+1})=<-0.3,+,1>$表示 $x_1$ 在时间区间 $(t_i,t_{i+1})$ 的值为“较低”，变化方向为“+”，将经过短暂时间(即快速地)变化为另一个量值(显然该量值应该为 0)。

由于压力源变量 $E$ 和压力管理变量 $D$ 只在时间点发生变化，且只关心它们对 $X$ 是否有影响，因此，$E$ 和 $D$ 用 $\mathrm{QS}(f,t_i)$ 描述：$\mathrm{QS}(f,t_i)=\{<->,<0>,<+>\}$。

对于成本变量 $C$，$\mathrm{QS}=<\mathrm{qval}>$，即不需要变化方向和时间维来衡量，其中，$\mathrm{qval}=l_k$。

### 2. 作用关系表述

本文用图 6-1 所示的因果关系图来表示变量之间的复杂作用关系，具体说来有两种因果关系，即 $E$ 和 $D$ 对 $X$ 的作用关系 $w$、$X$ 和 $C$ 之间的因果关系 $w'$。

例如，如果 $A$ 为压力源变量 $E$，$B$ 为某一个状态变量 $X$，因果关系 $w=<->$，那么，当 $A$ 的值在某个时间点 $t_i$ 为 $\mathrm{QS}(A,t_i)=<->$时，$B$ 的变化过程如图 6-5 所示，其中，$T_0$ 为初步响应时间，即开始变化的时间；$T_1$ 为响应稳定时间，即在 $T_1$ 时刻 $B$ 停止变化。

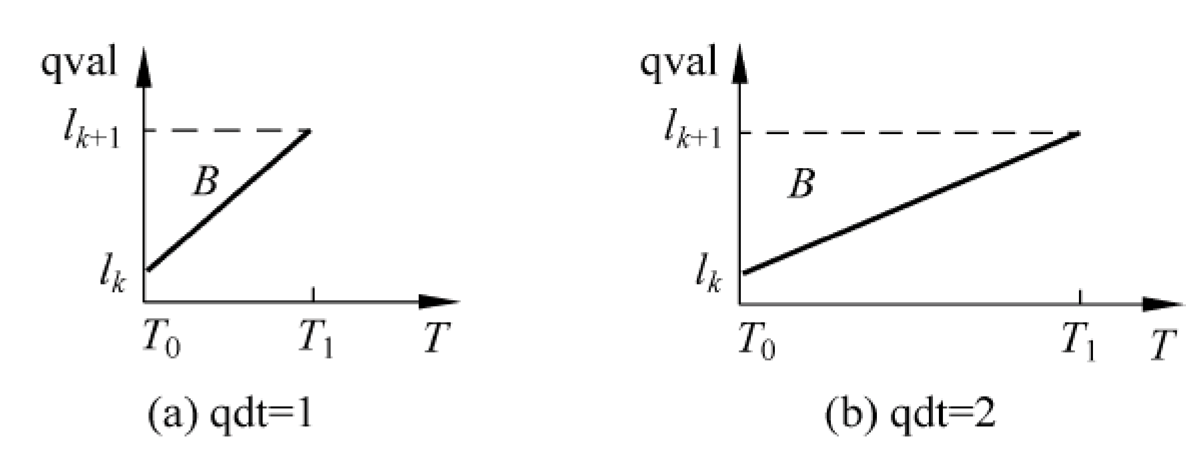



图 6-5　qdt 不同取值时变量 B 的变化

$w$ 需根据所研究对象的有关常识进行定义。例如，某高强度工作压力状态的高校，如果 $A$ 为加大教学、科研考核力度，$B$ 为教师对高校的工作倦怠度，那么根据管理常识，$w$＝“＋”，即只有一种可能；如果 $B$ 为教师工作努力度，那么，$w$＝“－”或“0”，即有两种可能。

$X$ 和 $C$ 之间的因果关系为 $w'$，即 $X$ 的 qval 的大小决定了 $C$ 的大小，反过来，$C$ 的大小又对 $X$ 的变化有影响。这就是教师行为受自身反馈影响而变化的原因。$w'$ 也要根据具体情况来定义。例如，如果 $x_1$ 表示教师工作努力度，$c_1$ 则表示其相应成本，如果要使教师的工作努力程度保持为 $x_1$，那就必须为此付出相应的成本 $c_1$，教师工作表现得越积极努力，那么他为此付出的就越多，因此，$x_1$ 和 $c_1$ 之间的因果关系 $w'$＝“＋”。

### 3. 引力表述

BP 神经网络是 1986 年由以 Rumelhart 和 McCelland 为首的科学家小组提出，是一种按误差逆传播算法训练的多层前馈网络，是目前应用最广泛的神经网络模型之一。BP 神经网络模型拓扑结构包括输入层(Input Layer)、隐层(Hide Layer)和输出层(Output Layer)。社会场 $S$ 与其所对应的社会场引力之间的映射可看作一个函数关系，这是因为 BP 神经网络具有逼近任意函数的能力，这种函数关系记为 BPS。这种函数关系的步骤是：首先用 BP 神经网络学习、逼近，再将变化了的社会场形态输入神经网络，最后新的社会场引力就会作为结果输出。另外还有一种一个函数关系，包括教师所感受的成本 $C$ 和成本引力两种元素，这种函数关系的步骤是，首先通过 BP 神经网络来表述和衡量成本引力，然后再向学习收敛后的神经网络输入变化了的成本，最后就可将相应的成本引力作为结果输出了。这种函数关系记为 BPC。

本书采用图 6-6 和图 6-7 所示的 BP 网络来表述和衡量社会场和成本引力。

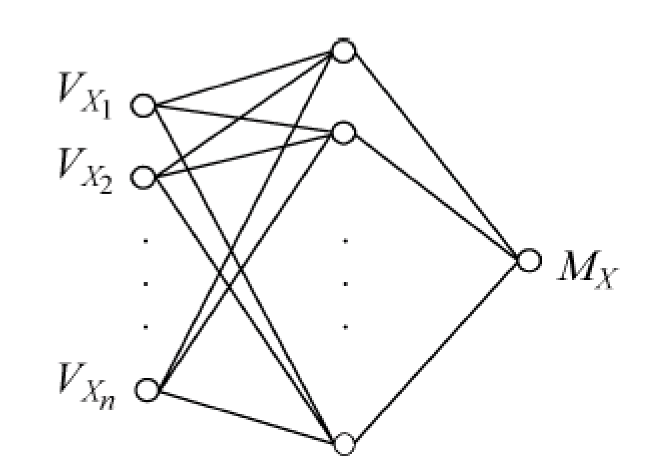



图 6-6　BPS 单隐层 BP 神经网络

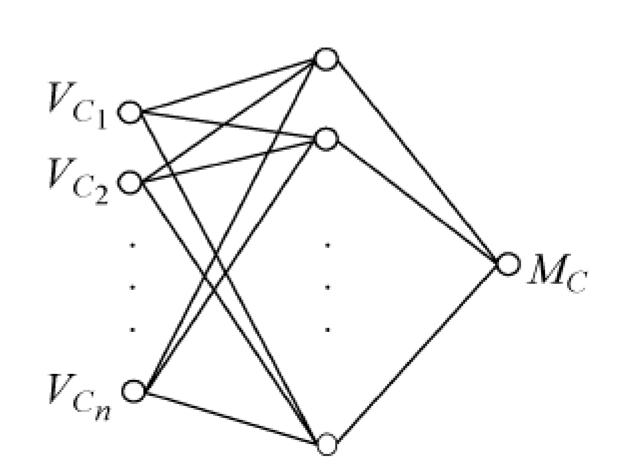



图 6-7　BPC 单隐层 BP 神经网络

由于教师在初始均衡状态下对长期的压力管理措施及其所处的压力环境已经习惯，因此将成本引力和社会场引力均设为 0，则 $C$ 各项的初始 qval 就分别等于对应 $X$ 的 qval。

当对 BP 神经网络实施训练时，把 $\mathrm{QS}(X, t_0)$ 当成神经网络的输入，$M_X=0$ 当成神经网络的输出，得到收敛后的神经网络，即为该高校社会场的映射值，记为 $\mathrm{BPS}_0$。如果 $X$ 出现变化，则将变化 $f$ 的 $\mathrm{QS}(X, t_0, t_1)$ 当成 $\mathrm{BPS}_0$ 的输入值，输出值 $M_X$ 可以计算获取，显然 $|M_X|$ 意味着原社会场作用于新行为的吸引力的大小。

类似地，把神经网络输入值 $\mathrm{QS}(X, t_0)$ 以及神经网络输出值 $M_C=0$ 作为训练样本之后，收敛获取 $\mathrm{BPC}_0$，为了维持 $X$ 的变化，必然引起 $C$ 的变化，导致 $\mathrm{QS}(C, t_1)$ 也发生变化，把变化后的 $\mathrm{QS}(C, t_1)$ 当成 $\mathrm{BPC}_0$ 的输入，那么变化量 $|M_C|$ 意味着成本引力的大小。

对于 $\mathrm{BPC}_0$ 和 $\mathrm{BPS}_0$，神经网络的输入值是不尽相同的。对于前者，取值为 $l_k$；而后者则相对复杂：处于时间点上如 $t = t_0$ 时，神经网络的输入 qval$x_1$，…，qval$x_n$ 等的取值也可为 $l_k$，然而处于时间区间如 $(t_0, t_1)$ 时，状态变量 $x_p$ 的 qval 在坐标[−1,1]上对应的实数值即为 $V_{x_p}$。在不同 qdt 的情况下 qval 的取值参见图 6-8。

在图 6-8(a)中，qdt=1，$h$ 为 $l_k \sim l_{k+1}$ 的中间点，$a$ 处于 $h \sim l_{k+1}$ 的 1/3 处，$b$ 处于 $l_k \sim h$ 的 2/3 处。在图 6-8(b)中，qdt=2，$h$ 为 $l_k \sim l_{k+1}$ 的中间点，$a$ 处于 $h \sim l_{k+1}$ 的 2/3 处，$b$ 处于 $l_k \sim h$ 的 1/3 处。这样处理的目的是为了区别教师行为平缓变化(qdt=1)和快速变化(qdt=2)时遭受的不同的社会场引力。

显然，根据图 6-8，$V_{x_p}$ 为服从所属区域上的均匀分布的随机变量。设 $E(V_{x_p})$ 为 $x_p$ 的期望，那么，图 6-8 中神经网络的输入 qval$x_1$，…，qval$x_n$ 等的取值为 $E(V_{x_1})$，…，$E(V_{x_n})$。

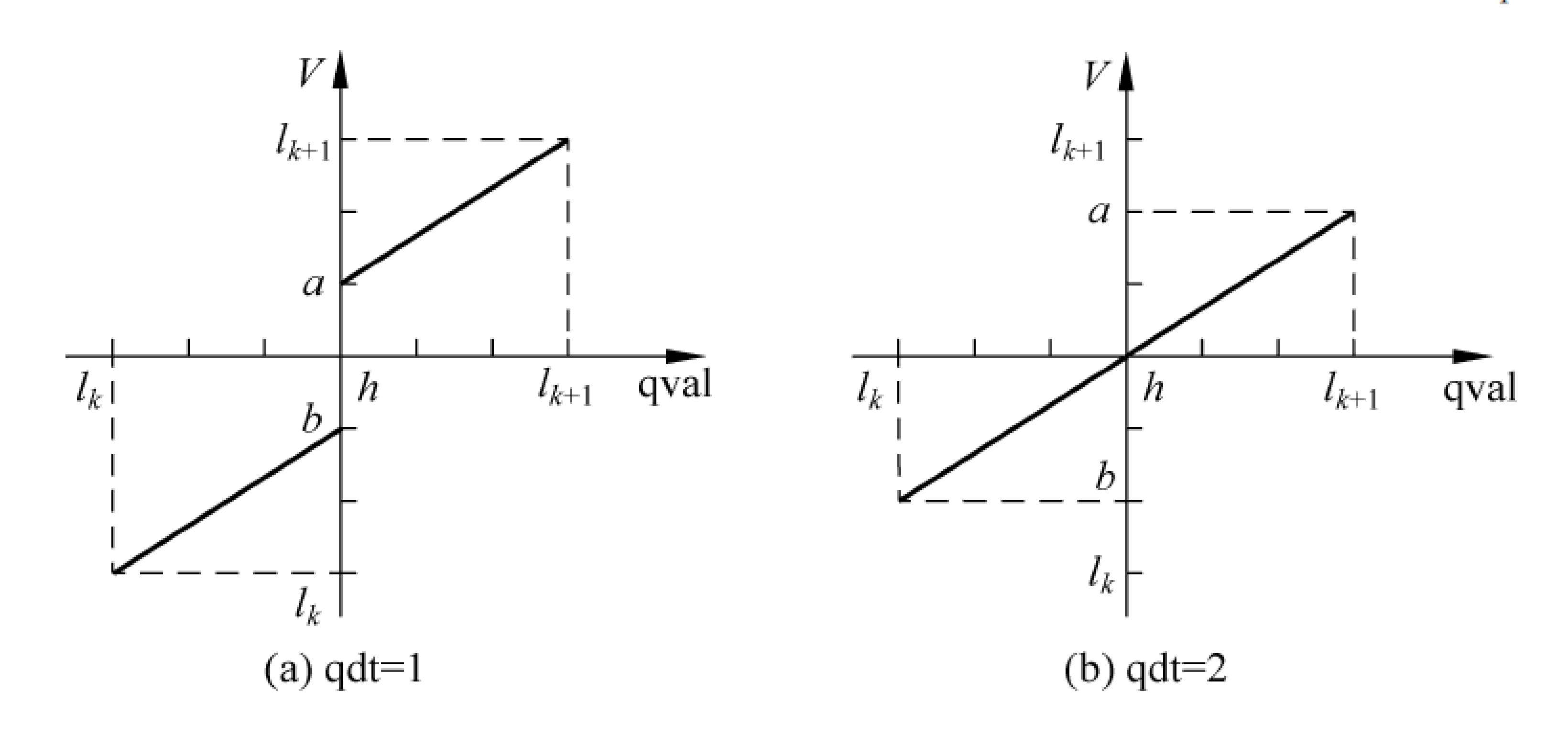



图 6-8　不同 qdt 情况下 $V$ 的取值

## 6.3.2　状态转换规则

图 6-3 中状态变量 $X$ 的振荡形式会随着仿真的运行因 $E$、$D$ 的变化而变化，此变化通过 $X$ 与 $C$ 的相互影响，以表明 $X$ 与 $C$ 之间两种不同类型的转换规则。

区间转换表示 $X$ 的状态从时间点向时间区间转换，点转换表示从时间区间向时间点

转换，这就是 $X$ 的两种转换。在时间点，$X$ 的状态必能达到显著值 $l_k$；然而在时间区间，$X$ 的状态继续处于变化之中。下式为区间转换模式，即

$$QS(X,t_i)=<qval_1,0,0>\rightarrow QS(X,t_i,t_{i+1})=<qval_2,qdir_2,qdt_2>$$

其中，$qval_1$ 见式(6-1)，$qdt_2=\{1,2\}$，1 表示快捷变化，2 表示缓慢变化。因此，受 $E$ 或 $D$ 影响会在初始时间点发生区间转换，而受社会场和成本引力的作用所发生的振荡也会导致区间转换。

对于第一类区间转换，表 6-1 和表 6-2 分别说明了 $qdir_2$ 以及 $qval_2$ 的算法，注意，$A\in\{E,D\}$。

**表 6-1　$qdir_2$ 的算法**

| $w$ | $OS(A,t_1)$ | | |
|---|---|---|---|
| | $<->$ | $<0>$ | $<+>$ |
| − | + | 0 | − |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| + | − | 0 | + |

**表 6-2　$qval_2$ 的算法**

| $qdir_2$ | $qval_1$ | | |
|---|---|---|---|
| | $l_1$ | $l_k$ | $l_7$ |
| − | $l_1$ | $(l_{k-1},l_k)$ | $(l_6,l_7)$ |
| 0 | $l_1$ | $l_k$ | $l_7$ |
| + | $(l_1,l_2)$ | $(l_k,l_{k+1})$ | $l_7$ |

对于第二类区间转换中，$qdir_2$ 的算法为

$$\frac{d(qdir_2)}{dt}=|M_X|-|M_C| \tag{6-2}$$

由于 $qdir_2$ 是一个离散变量，且 $qdir_2=\{-,0,+\}$，由式(6-2)可知，当 $|M_X|-|M_C|<0$ 时，$qdir_2$＝“−”；当 $|M_X|-|M_C|=0$ 时，$qdir_2$＝“0”；当 $|M_X|-|M_C|>0$ 时，$qdir_2$＝“+”。

如果 $qval_1=l_k$，如表 6-2 说明了 $qval_2$ 的算法。如果 $qval_1=(l_k,l_{k+1})$ 时，假定 $qval_1=l^*$，那么，$qval_2$ 的算法如表 6-3 所示。

**表 6-3　$qval_2$ 的算法**

| $qdir_2$ | − | 0 | + |
|---|---|---|---|
| $qval_2$ | $(l_k,l^*)$ | $l^*$ | $(l^*,l_k)$ |

点转换可以表示为

$$QS(X,t_i,t_{i+1})=<qval_1,qdir_1,qdt_1>\rightarrow QS(X,t_{i+1})=<qval_2,0,0>$$

其中，$qdt_1=\{1,2\}$。表 6-4 说明了 $qval_2$ 的算法，其中 $1<k<7$。

**表 6-4　$\mathrm{qval}_2$ 的算法**

| $\mathrm{qdir}_1$ | $\mathrm{qval}_1$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $l_1$ | $l_k$ | $l_7$ | $(l_k, l_{k+1})$ |
| − | $l_1$ | $l_{k-1}$ | $l_6$ | $l_k$ |
| 0 | $l_1$ | $l_k$ | $l_7$ | $(l_k, l_{k+1})$ |
| + | $l_2$ | $l_{k+1}$ | $l_7$ | $l_{k+1}$ |

如图 6-1(b)所示，显然 $X$ 和 $C$ 的因果关系为 $w'$。因此，对于 $C$ 的状态转换，设 $X$ 的变化方向为 qdir，下式说明 $C$ 的转换规则，即

$$\mathrm{QS}(C, t_i) = <\mathrm{qval}_1> \xrightarrow{r} \mathrm{QS}(C, t_i, t_{i+1}) = <\mathrm{qval}_2>$$

那么，$r$ 和 $\mathrm{qval}_2$ 的算法如表 6-5、表 6-6 所示。令 $\mathrm{QS}(C, t_{i+1}) = \mathrm{QS}(C, t_i, t_{i+1})$。

**表 6-5　$r$ 的算法**

| $w'$ | qdir | | |
|---|---|---|---|
| | $<->$ | $<0>$ | $<+>$ |
| − | + | 0 | − |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| + | − | 0 | + |

**表 6-6　$\mathrm{qval}_2$ 的算法**

| $r$ | $\mathrm{qval}_1$ | | |
|---|---|---|---|
| | $l_1$ | $l_k$ | $l_7$ |
| − | $l_1$ | $l_{k-1}$ | $l_6$ |
| 0 | $l_1$ | $l_k$ | $l_7$ |
| + | $l_2$ | $l_{k+1}$ | $l_7$ |

## 6.3.3　过滤原理

转换规则说明，每一时间阶段 $X$ 都有多个后续状态，经过多次仿真组合，必然出现组合爆炸，所以必须在每一个时间区间对不合理的状态转换进行过滤来避免组合爆炸。

根据振荡—均衡规律，高校教师受社会场和成本引力双重影响，他们习惯性地倾向接近均衡状态的选择，不但使教师有较好的心理安全感，而且成本代价不高，相反地其他行为必然背离心理安全和低成本效果。下面说明其过滤原理。

$E$ 或 $D$ 在初始时间点 $t_0$ 发生变化时，$X$ 会通过状态转换形成 $s$ 个组合，表明教师有 $s$ 种可能的工作行为；同理，$C$ 的转换对应形成 $s$ 个组合。将 $s$ 个 $X$ 转换的组合作为 $\mathrm{BPS}_0$ 的输入值，得到 $s$ 个输出，即 $M_{X_1}, M_{X_2}, \cdots, M_{X_s}$。将 $s$ 个 $C$ 转换的组合输入 $\mathrm{BPC}_0$，同样可以得到 $s$ 个输出，即 $M_{C_1}, M_{C_2}, \cdots, M_{C_s}$。设 $\mathrm{DM}_j$ 是 $M_{X_j}$ 和 $M_{C_j}$ 差值的最小值，因此，有

$$\mathrm{DM}_j = |M_{Xj}| - |M_{Cj}| \tag{6-3}$$

式中，$j = 1, 2, \cdots, s$。

对于 $\min\{|\mathrm{DM}_j|\}$，对应的 $X$ 的组合表示教师最可能的后续状态行为，同时过滤其他 $X$ 的行为组合。

### 6.3.4　定性仿真引擎

对于某高校某二级学院的教师，假设 $E$ 或 $D$ 发生了变化，在初始点 $t=t_0$，有 $\mathrm{QS}(E, t_0) \neq \langle 0 \rangle$ 或 $\mathrm{QS}(D, t_0) \neq \langle 0 \rangle$，对状态变量 $X=\{x_1, x_2, \cdots, x_p\}$，有 $\mathrm{QS}(X, t_0) = \{\mathrm{qval}, 0, 0\}$。定性仿真引擎操作流程如图 6-9 所示。

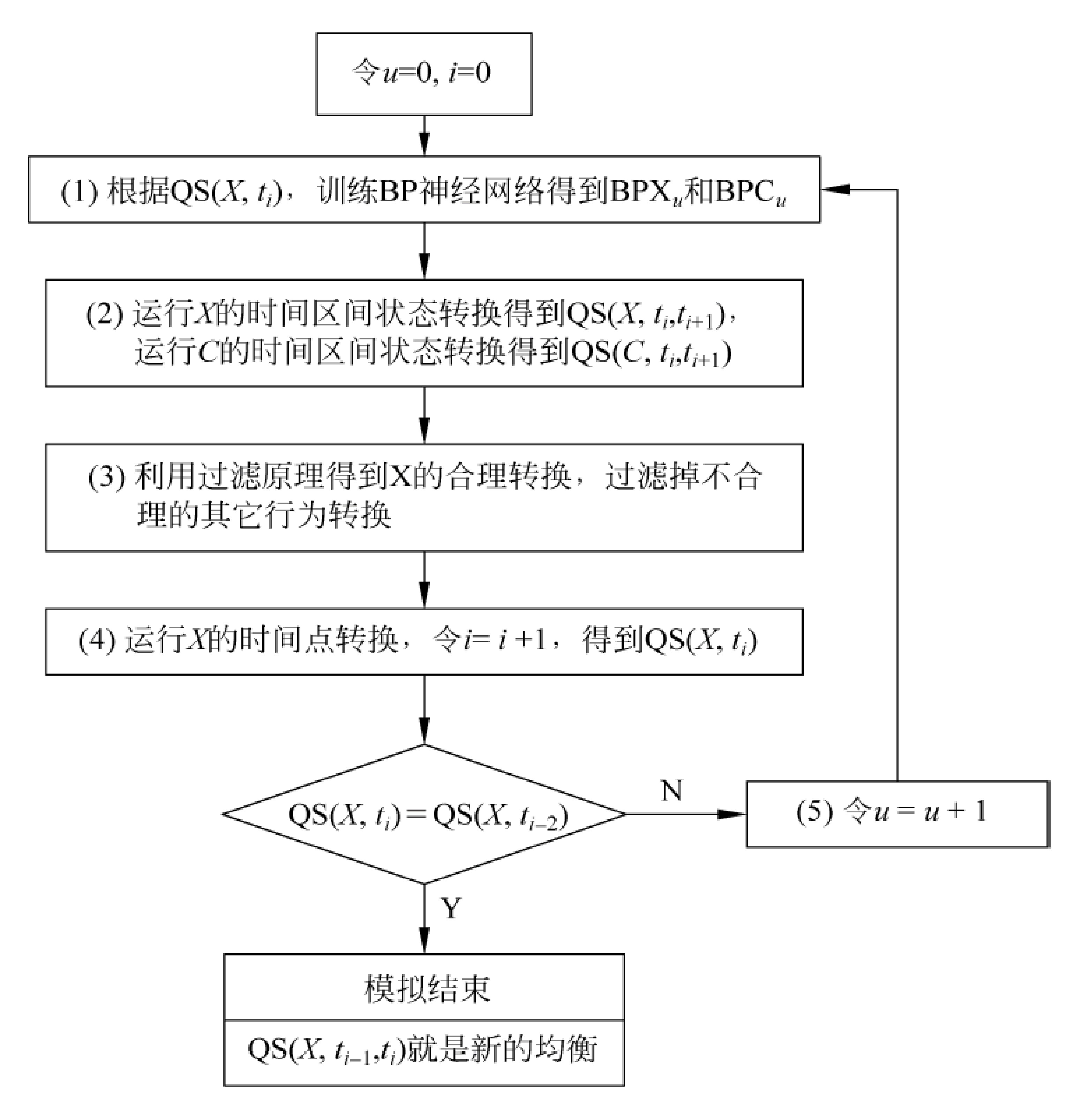



图 6-9　定性仿真引擎操作流程

因此，式(6-2)和式(6-3)是仿真引擎的核心动力。

## 6.4　模型的确认

本节讨论对 OEQS 模型的确认。确认方法分为两类，即定量确认和定性确认。本书采用定性确认方法，其确认步骤设计如下。

（1）描述一个高校示例。

（2）基于该示例，组合不同的压力源和压力管理输入，形成多个实验方案。

（3）运行每个方案，得到教师群体对应的工作行为。

（4）将输入、输出与组织行为学进行比较，如果与常识相符，说明基于振荡—均衡的教师群体行为的定性仿真模型是合理的，确认通过；否则，确认不通过。

## 6.4.1　高校示例描述

设压力源变量 $e_1$ 表示某高校教学、科研和办公环境，当学校环境舒适、设备先进时，有 $\mathrm{QS}(e_1,t_0)=\langle+\rangle$；反之，有 $\mathrm{QS}(e_1,t_0)=\langle-\rangle$。$e_2$ 表示某高校职称改革政策，当执行职称分级，职称晋级难度增加时，有 $\mathrm{QS}(e_2,t_0)=\langle+\rangle$；反之，有 $\mathrm{QS}(e_2,t_0)=\langle-\rangle$。$e_3$ 表示某高校科研考核，当提升项目到账金额，提高论文质量和数量时，有 $\mathrm{QS}(e_3,t_0)=\langle+\rangle$；反之，有 $\mathrm{QS}(e_3,t_0)=\langle-\rangle$。

设压力管理变量 $d_1$ 表示高校组织关心教师工作压力现状，以人为本，实行教师帮助计划（TAP），有效减压，提高了教师对职业的忠诚度，有 $\mathrm{QS}(d_1,t_0)=\langle+\rangle$；如果组织没有作为，教师工作压力现状没有改变，则 $\mathrm{QS}(d_1,t_0)=\langle 0\rangle$。$d_2$ 表示高校组织改善教师的工资待遇，减少教师对工作负荷较重的抱怨，工作压力降低，提高教师的努力度，有 $\mathrm{QS}(d_2,t_0)=\langle+\rangle$；如果工资水平保持不变，那么 $\mathrm{QS}(d_2,t_0)=\langle 0\rangle$。

对于状态变量，设教师对职业的忠诚度为 $x_1$，教师的工作努力度为 $x_2$，教师的独立性程度为 $x_3$，三者对应的成本变量依次是 $c_1$、$c_2$、$c_3$。

表 6-7 说明了变量间的因果关系。教师的初始状态是：$\mathrm{QS}(x_1,t_0)=\langle l_5,0,0\rangle$，$\mathrm{QS}(x_2,t_0)=\langle l_4,0,0\rangle$ 和 $\mathrm{QS}(x_3,t_0)=\langle l_6,0,0\rangle$。

**表 6-7　变量间的因果关系**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $e_1 \xrightarrow{+} x_1$ | $e_2 \xrightarrow{-} x_1$ | $e_3 \xrightarrow{-} x_1$ | $d_1 \xrightarrow{+} x_1$ | $d_2 \xrightarrow{0,+} x_1$ | $x_1 \xrightarrow{-,0} c_1$ |
| $e_1 \xrightarrow{0,+} x_2$ | $e_2 \xrightarrow{-,0} x_2$ | $e_3 \xrightarrow{-} x_2$ | $d_1 \xrightarrow{0,+} x_2$ | $d_2 \xrightarrow{+} x_2$ | $x_2 \xrightarrow{0,+} c_2$ |
| $e_1 \xrightarrow{+} x_3$ | $e_2 \xrightarrow{-} x_3$ | $e_3 \xrightarrow{-} x_3$ | $d_1 \xrightarrow{+} x_3$ | $d_2 \xrightarrow{0,+} x_3$ | $x_3 \xrightarrow{-} c_3$ |

## 6.4.2　实验方案设计

下面设计 3 个实验方案。

（1）$\mathrm{QS}(e_1,t_0)=\langle 0\rangle$，$\mathrm{QS}(e_2,t_0)=\langle+\rangle$，$\mathrm{QS}(e_3,t_0)=\langle 0\rangle$，$\mathrm{QS}(d_1,t_0)=\langle 0\rangle$，$\mathrm{QS}(d_2,t_0)=\langle 0\rangle$。

在方案（1），某高校实行比较严格的职称评聘制度，其他变量没有变化。

（2）$\mathrm{QS}(e_1,t_0)=\langle 0\rangle$，$\mathrm{QS}(e_2,t_0)=\langle+\rangle$，$\mathrm{QS}(e_3,t_0)=\langle+\rangle$，$\mathrm{QS}(d_1,t_0)=\langle+\rangle$，$\mathrm{QS}(d_2,t_0)=\langle 0\rangle$。

在方案(2)，某高校除实行比较严格的职称评聘制度外，还实行高要求的科研考核办法，同时学校重视并加强减压策略，如实行教师帮助计划，以人为本，使教师心情舒畅、平等和谐，主流价值观为热爱教师职业、乐于奉献等。

(3) $QS(e_1,t_0)=\langle -\rangle$，$QS(e_2,t_0)=\langle 0\rangle$，$QS(e_3,t_0)=\langle 0\rangle$，$QS(d_1,t_0)=\langle 0\rangle$，$QS(d_2,t_0)=\langle +\rangle$。

在方案(3)，学校硬件环境落后，教学、科研条件较差，但提高了工资待遇。

按照以上 3 个方案进行实验仿真，可以得到高校教师群体工作行为的变化规律。使用 MATLAB 6.10 软件编码生成 BP 神经网络，训练得到 $BPS_0$ 和 $BPC_0$。其训练过程如图 6-10 所示。

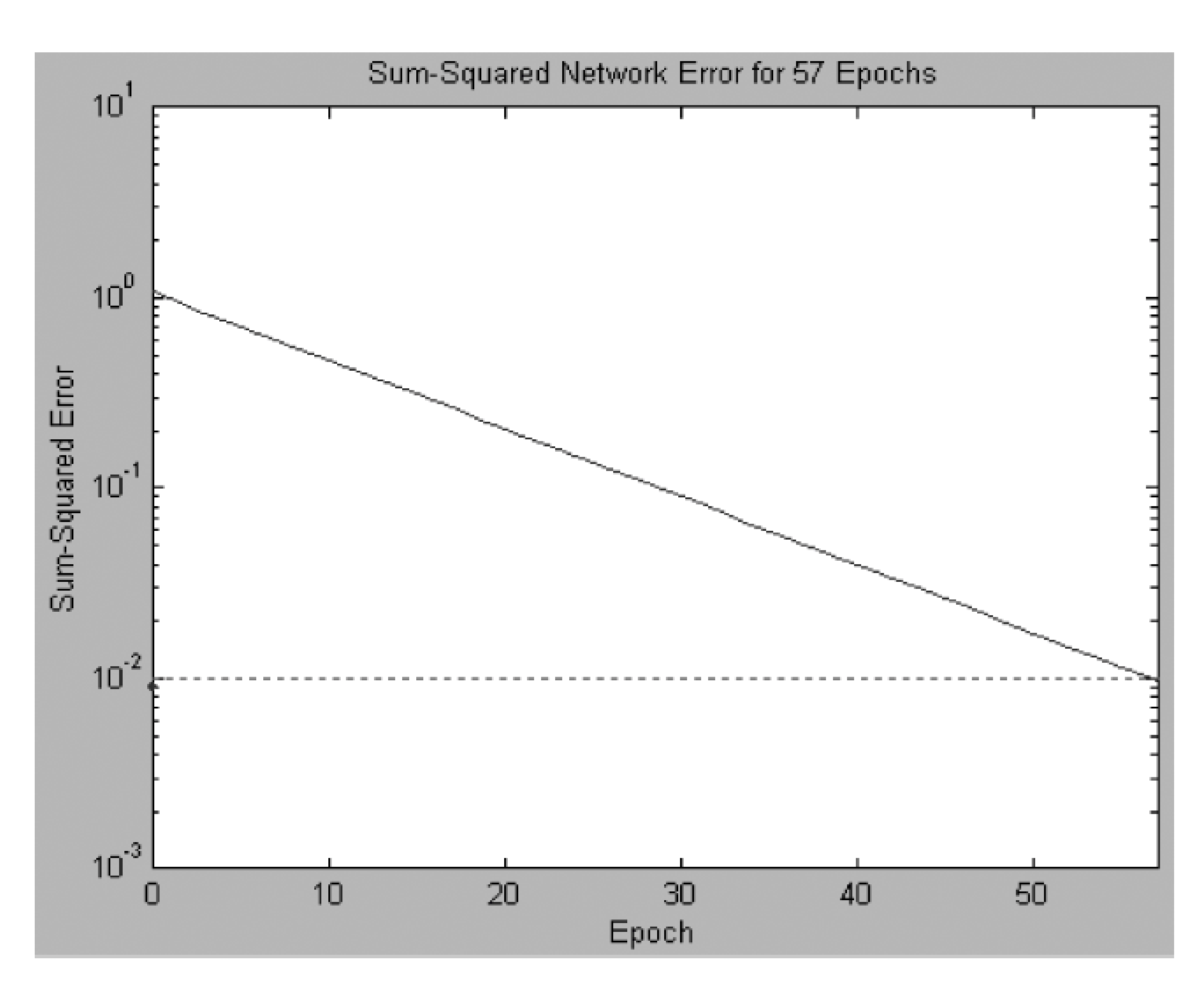



图 6-10 BP 神经网络的训练过程

## 6.4.3 定性仿真与分析

利用 Visual Basic 6.0 开发了部分接口，图 6-11 所示为因果关系定义对话框，图 6-12 所示为教师群体行为的区间转换等，并且图形化显示仿真结果。

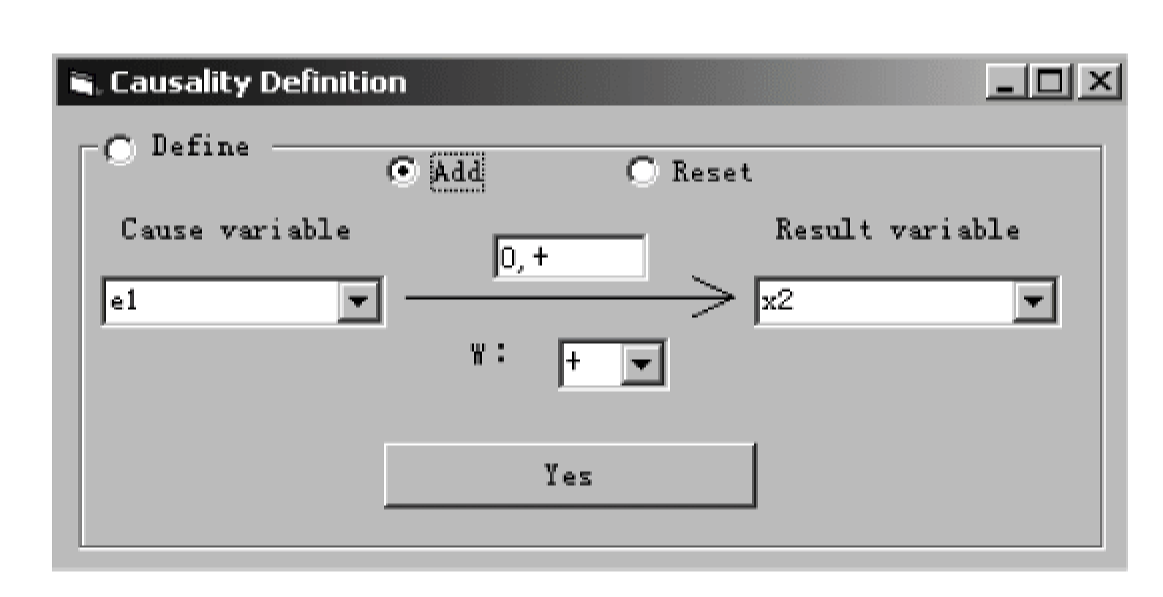



图 6-11 因果关系定义窗口

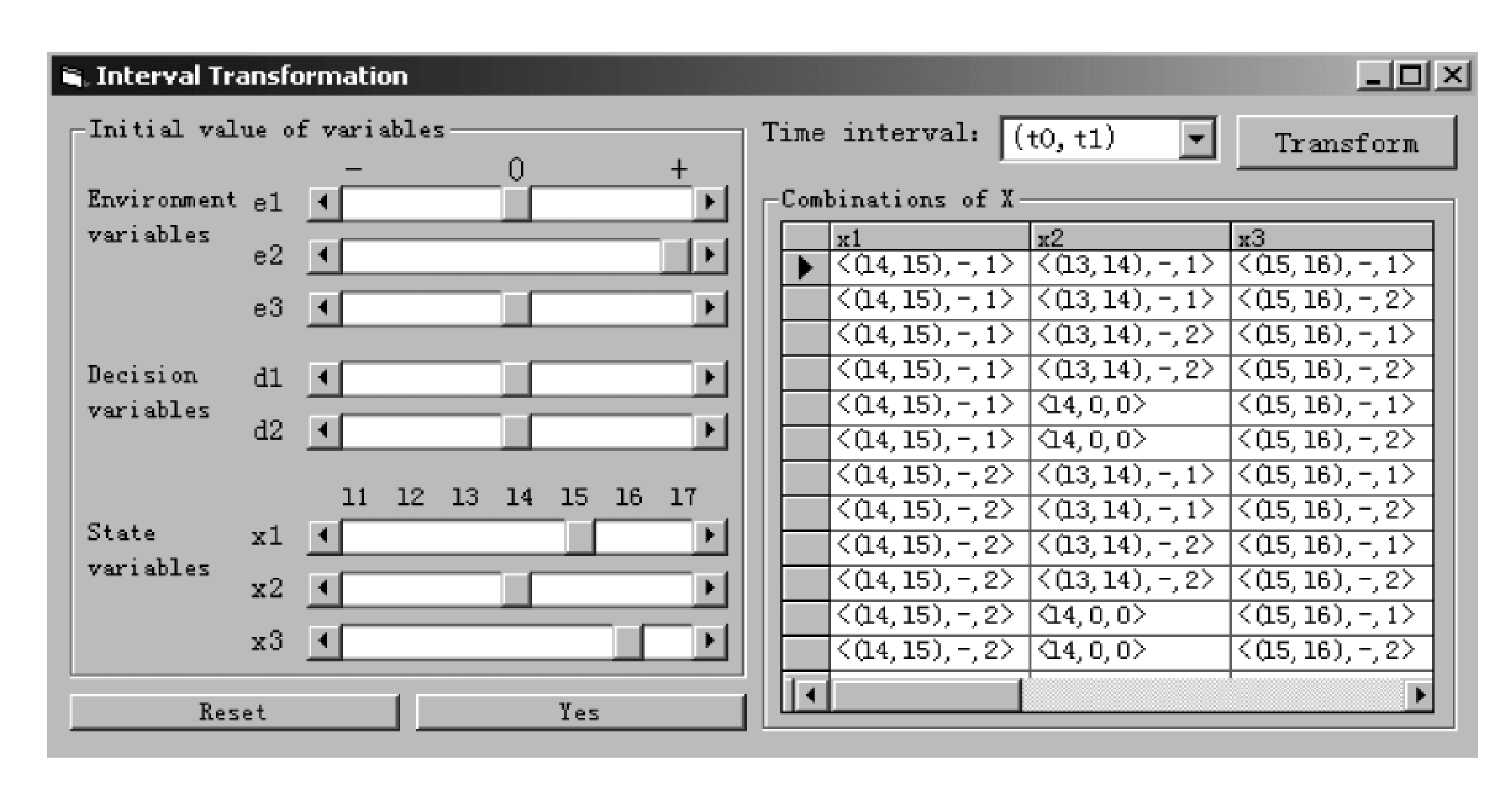



图 6-12　教师群体行为的区间转换窗口

在定性仿真实验中，相关符号代表状态变量改变方向和时间，释义如下。

↓代表 qdir ＝“－”和 qdt ＝“1”。

↘代表 qdir ＝“－”和 qdt ＝“2”。

⊖代表 qdir ＝“0”。

↑代表 qdir ＝“＋”和 qdt ＝“1”。

↗代表 qdir ＝“＋”和 qdt ＝“2”。

图 6-13 显示了方案(1)教师行为变化的振荡特征：当高校实行比较严格的职称评聘办法时，如果高校不采取压力管理等措施，教师行为将向不利方向变化。该实验结果可以用真实世界的常识进行解释：当高校实行比较严格的职称评聘制度时，将增大教师的工作压力，教师长期在高强度的压力下工作，会出现身心疲惫，行为上表现出对工作的倦怠，坚持不下来的教师可能会离职，在职的教师对高校的忠诚度、对工作的努力度以及组织的凝聚力将降低。

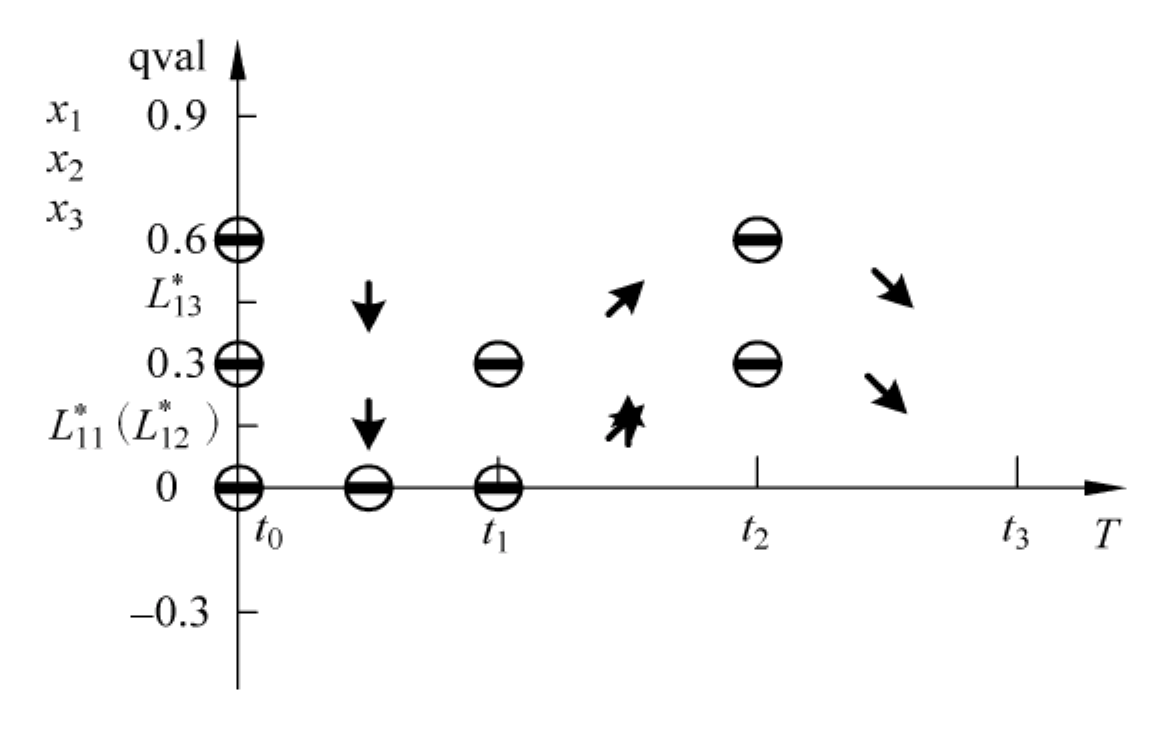



图 6-13　方案(1)的教师行为变化过程

方案(2)的教师行为变化过程如图 6-14 所示，高校除实行比较严格的职称评聘制度外，还实行高要求的科研考核办法，这两个因素都对高校教师的工作压力带来不利影响，其强度大于方案(1)，但学校采取了有效的压力管理措施，如重视并加强减压策略，实行教师帮助计划，以人为本，使教师心情舒畅、平等和谐，主流价值观为热爱教师职业、乐于奉献等。显然压力管理措施对减弱教师负面行为是有效的。最终，教师行为仍显示出不利趋势，但保持在初始水平附近，并向初始水平回归。

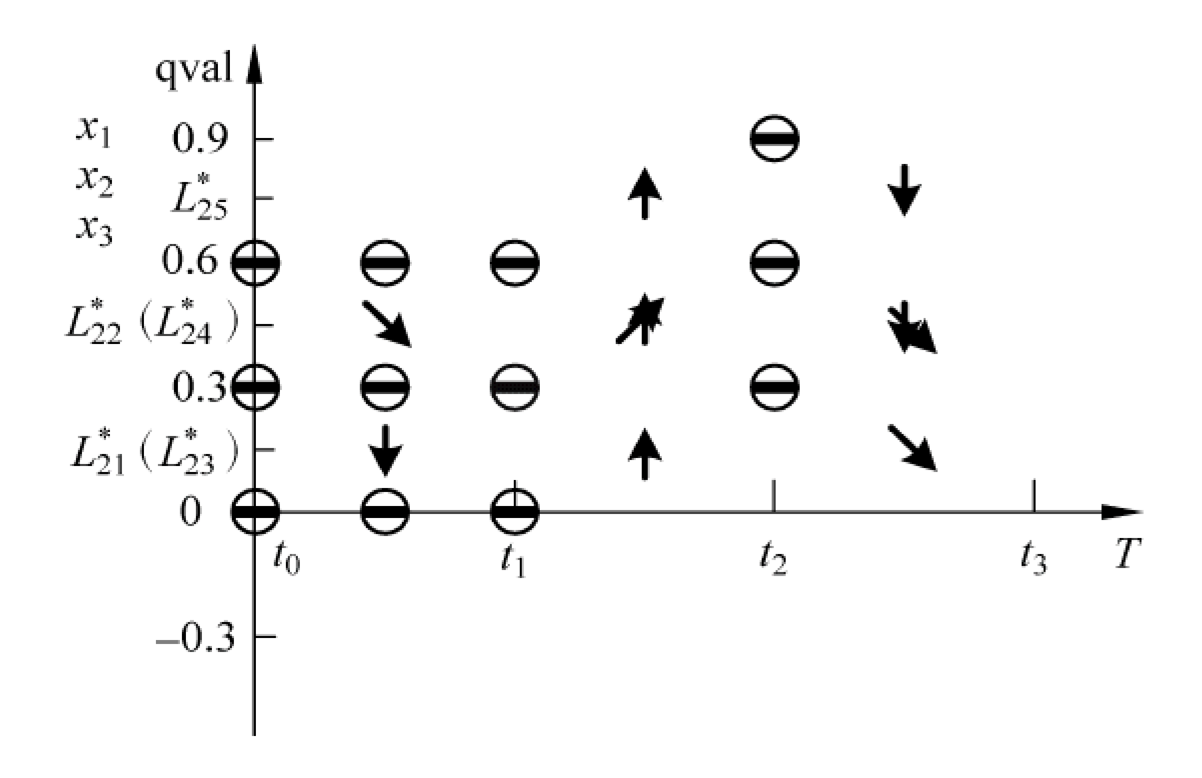



图 6-14 方案(2)的教师行为变化过程

如图 6-15 所示，方案(3)的仿真结果跟方案(2)有些相似。在环境变量和管理变量双重因素影响下，教师行为变化过程呈现围绕初始水平波动。在时间点 $t = t_0$，教师行为状态在初始均衡点。在时间区间 $t=(t_2, t_3)$ 达到新的均衡点，教师行为围绕均衡点波动。因此，当学校硬件环境落后，教学、科研条件较差，虽然不利于教师职业的发展，但学校提高了工资待遇，教师行为会围绕初始均衡点上下波动，阻止其行为向不利于学校的方向发展。

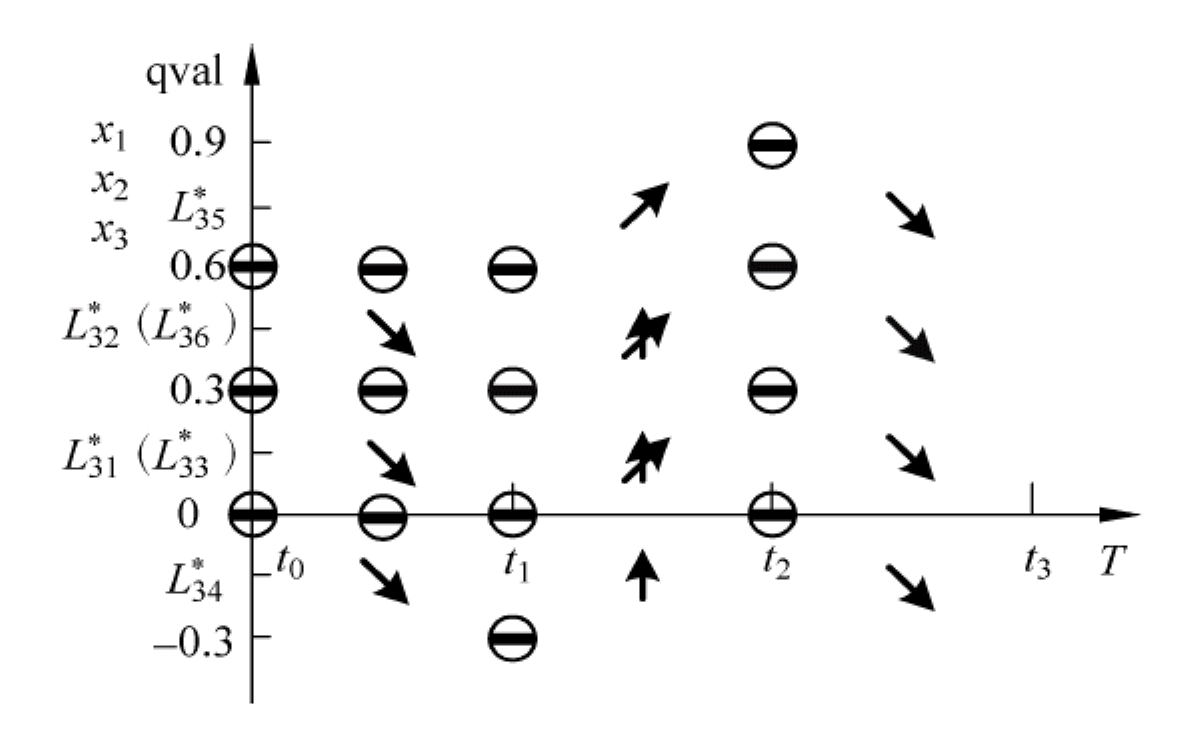



图 6-15 方案(3)的教师行为变化过程

通过以上 3 个实验方案的定性仿真和结果分析，证明仿真结果与真实世界的常识是一致的。因此，OEQS 模型确认通过。

# 6.5　高校工作压力对教师群体行为影响的定性仿真应用

利用振荡—均衡模型，对一所高校工作压力—教师群体行为进行定性仿真研究，为高校决策提供支持。

先设定输入数据：$QS(e_1,t_0)=<->$、$QS(e_2,t_0)=<+>$和 $QS(e_3,t_0)=<+>$，即学校贷款力度较大，还贷能力不足，设备购置、科研项目配套经费紧张，教学、科研条件较差，但实行较严格的职称晋升制度和较高的科研考核要求，以期短时间内提升学校科研成果和排名，改善学校师资的职称结构。

显然学校采取以上策略，使教师工作压力非常大，是一种冒险的、极端的策略，极可能打破旧的平衡，对学校的发展带来不利的影响，教师的行为将向不好的趋势发展。对于状态变量，设定：$x_1$ 表示高校教师忠诚度，$x_2$ 表示工作努力度，$x_3$ 表示教师群体的凝聚力。

为制止不利局面发生，学校在压力管理方面也采取了对应措施：$QS(d_1,t)=<+>$和 $QS(d_2,t)=<+>$。前者表示学校加强思想政治工作，一方面宣传教师职业的奉献精神，学校跨越式发展的历史责任；另一方面加强对教师思想、生活的关心，切实解决教师的困难，使教师身心舒畅，对学校发展充满信心。后者表示在经济上提高教师的工资待遇，并承诺在学校发展的关键时刻，在资金紧张的情况下，每年按一定比例增加教师的工资。设计两个压力管理方案。

（1）$QS(d_1,t_1)=<+>$，$QS(d_2,t_2)=<+>$。

（2）$QS(d_2,t_1)=<+>$，$QS(d_1,t_2)=<+>$。

方案（1）表示在开始阶段，学校没有足够的经费，以加强政治思想和动员工作为主，在第二阶段，学校提高教师工资待遇。方案（2）表示在开始阶段，学校克服困难提高教师工资待遇，后阶段转为加强政治思想工作，提高教师的敬业、奉献意识。

运用振荡—均衡模型，对两个压力管理方案进行定性仿真，方案（1）的 $|DM_j|$ 如图 6-16 所示，方案（2）的 $|DM_j|$ 如图 6-17 所示。

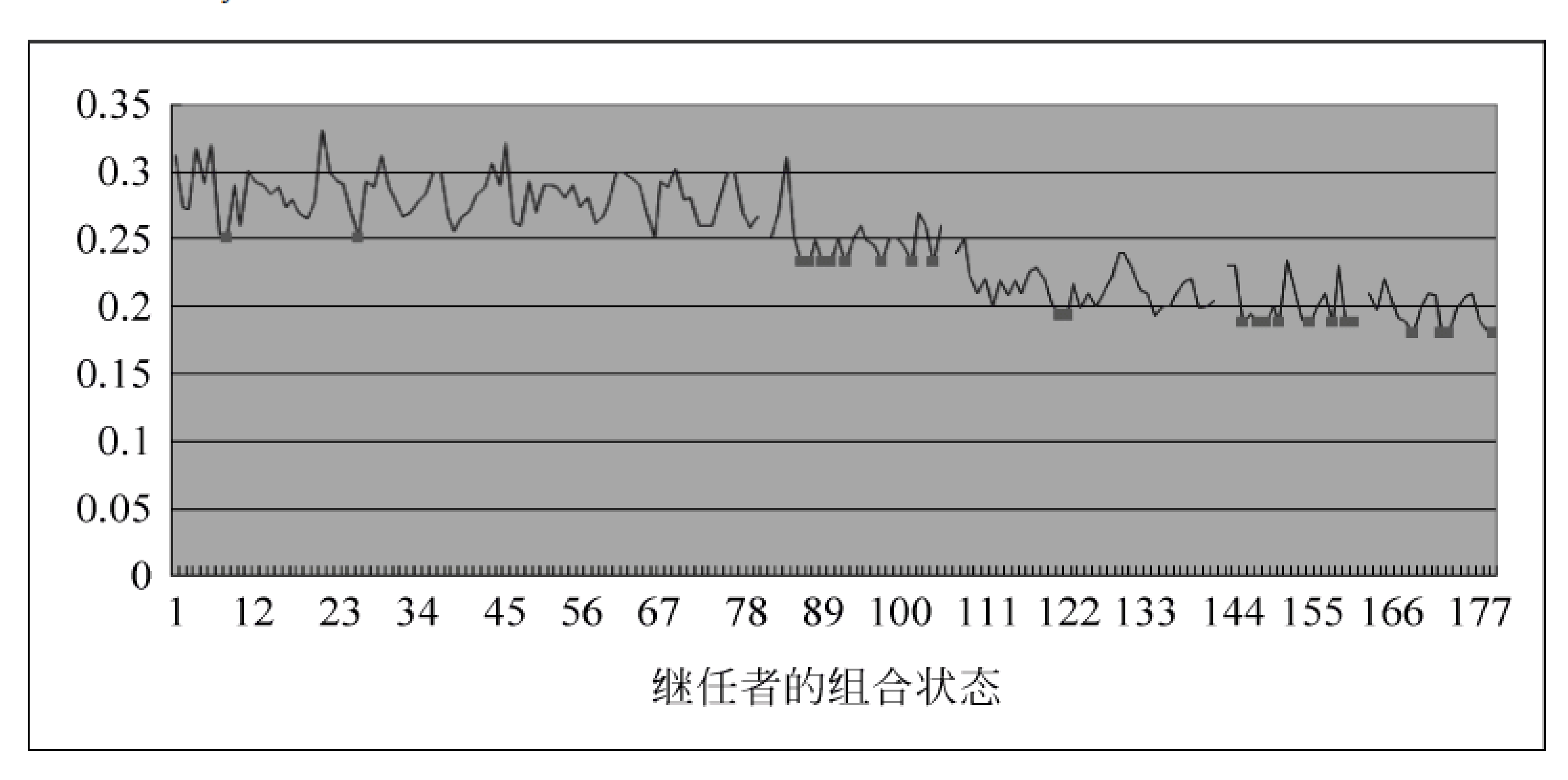



图 6-16　方案（1）的 $|DM_j|$

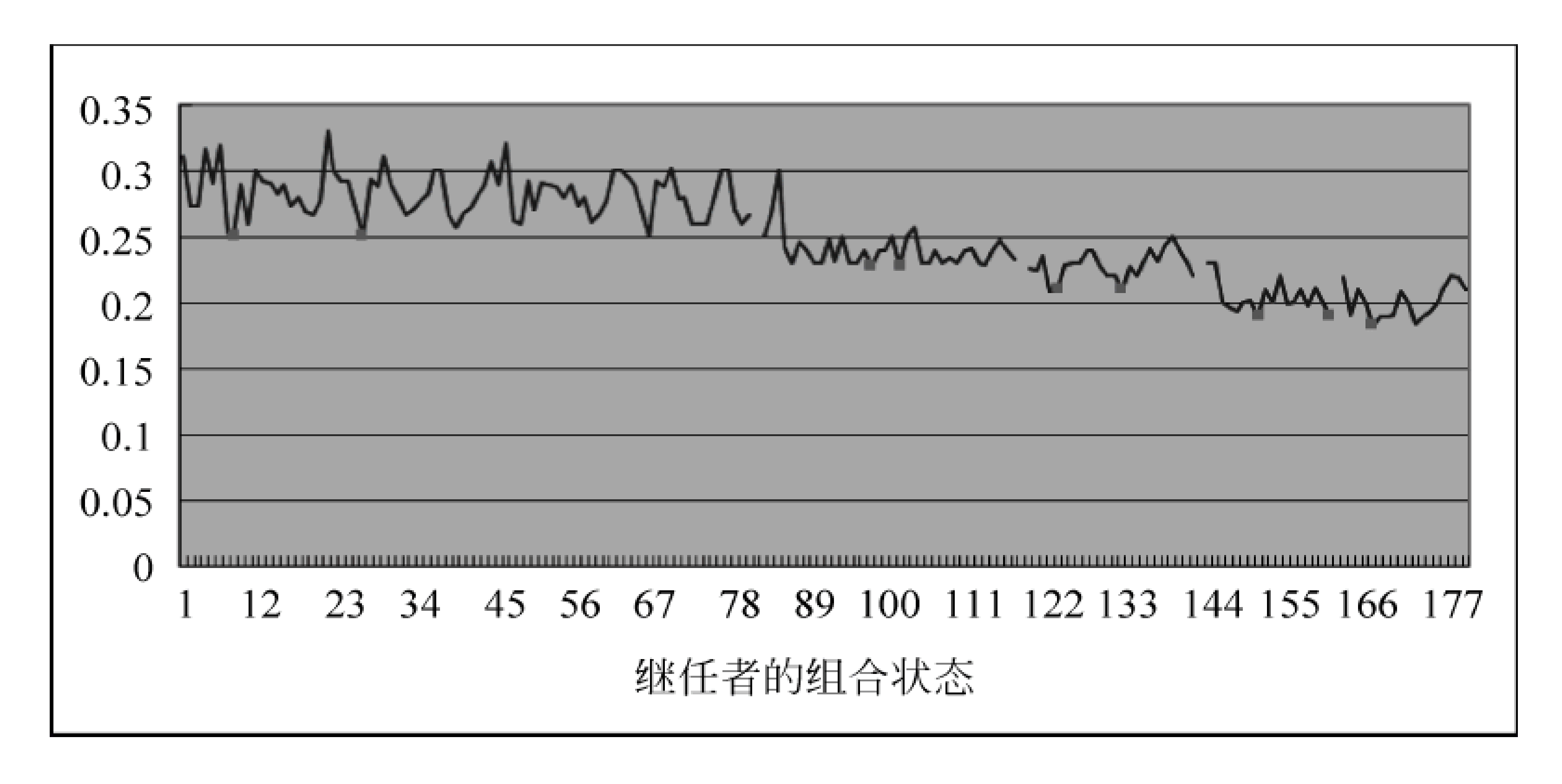



图 6-17　方案(2)的$|DM_j|$

在以上两个方案中,出现 5 个时间区间,即$(t_0,t_1)$、$(t_1,t_2)$、$(t_2,t_3)$、$(t_3,t_4)$和$(t_4,t_5)$。在方案(1)的每个时间区间,分别有 80、24、36、18 和 18 个组合状态变量。在方案(2)的每个时间区间,分别有 80、36、24、18 和 18 个组合状态变量。显然,随着仿真的运行,$|DM_j|$的值总是向减少趋势变化,意味着教师行为逐渐达到均衡。

表 6-8 和表 6-9 分别列出了两个方案的仿真结果。

**表 6-8　方案(1)的仿真结果**

| | $QS(x_1,t)$ | $QS(x_2,t)$ | $QS(x_3,t)$ |
|---|---|---|---|
| $t=t_0$ | $<l_5,0,0>$ | $<l_4,0,0>$ | $<l_6,0,0>$ |
| $t=(t_0,t_1)$ | $<l_5,0,0>$<br>$<(l_4,l_5),-,2>$ | $<(l_3,l_4),-,2>$ | $<(l_5,l_6),-,1>$ |
| $t=t_1$ | $<l_4,0,0>$<br>$<l_5,0,0>$ | $<l_3,0,0>$ | $<l_5,0,0>$ |
| $t=(t_1,t_2)$ | $<l_5,0,0>$<br>$<(l_4,l_5),+,2>$ | $<l_3,0,0>$<br>$<(l_3,l_4),+,2>$ | $<l_5,0,0>$<br>$<(l_5,l_6),+,2>$ |
| $t=t_2$ | $<l_5,0,0>$ | $<l_3,0,0>$<br>$<l_4,0,0>$ | $<l_5,0,0>$<br>$<l_6,0,0>$ |
| $t=(t_2,t_3)$ | $<(l_5,l_6),+,1>$ | $<(l_3,l_4),+,2>$<br>$<(l_4,l_5),+,1>$ | $<(l_5,l_6),+,2>$<br>$<(l_6,l_7),+,1>$ |
| $t=t_3$ | $<l_6,0,0>$ | $<l_4,0,0>$<br>$<l_5,0,0>$ | $<l_6,0,0>$<br>$<l_7,0,0>$ |
| $t=(t_3,t_4)$ | $<l_6,0,0>$<br>$<(l_5,l_6),-,2>$ | $<(l_5,l_6),+,2>$<br>$<(l_4,l_5),+,2>$ | $<(l_5,l_6),-,1>$<br>$<(l_6,l_7),-,2>$ |
| $t=t_4$ | $<l_5,0,0>$ | $<l_5,0,0>$<br>$<l_6,0,0>$ | $<l_5,0,0>$<br>$<l_6,0,0>$ |
| $t=(t_4,t_5)$ | $<L_{11}^*,+,2>$ | $<L_{12}^*,-,2>$<br>$<L_{13}^*,-,2>$ | $<L_{14}^*,+,2>$<br>$<L_{15}^*,+,2>$ |

其中，$L_{11}^{*}\in(l_5,l_6)$，$L_{12}^{*}\in(l_5,l_6)$，$L_{13}^{*}\in(l_4,l_5)$，$L_{14}^{*}\in(l_5,l_6)$和 $L_{15}^{*}\in(l_6,l_7)$为新的均衡。

**表 6-9　方案(2)的仿真结果**

| | $QS(x_1,t)$ | $QS(x_2,t)$ | $QS(x_3,t)$ |
|---|---|---|---|
| $t=t_0$ | $\langle l_5,0,0\rangle$ | $\langle l_4,0,0\rangle$ | $\langle l_6,0,0\rangle$ |
| $t=(t_0,t_1)$ | $\langle l_5,0,0\rangle$<br>$\langle (l_4,l_5),-,2\rangle$ | $\langle (l_3,l_4),-,2\rangle$ | $\langle (l_5,l_6),-,1\rangle$ |
| $t=t_1$ | $\langle l_4,0,0\rangle$<br>$\langle l_5,0,0\rangle$ | $\langle l_3,0,0\rangle$ | $\langle l_5,0,0\rangle$ |
| $t=(t_1,t_2)$ | $\langle (l_4,l_5),+,1\rangle$<br>$\langle (l_5,l_6),+,1\rangle$ | $\langle (l_3,l_4),+,1\rangle$ | $\langle (l_5,l_6),+,1\rangle$ |
| $t=t_2$ | $\langle l_5,0,0\rangle$<br>$\langle l_6,0,0\rangle$ | $\langle l_4,0,0\rangle$ | $\langle l_6,0,0\rangle$ |
| $t=(t_2,t_3)$ | $\langle (l_5,l_6),+,2\rangle$<br>$\langle (l_6,l_7),+,2\rangle$ | $\langle (l_4,l_5),+,1\rangle$ | $\langle (l_6,l_7),+,1\rangle$ |
| $t=t_3$ | $\langle l_6,0,0\rangle$<br>$\langle l_7,0,0\rangle$ | $\langle l_5,0,0\rangle$ | $\langle l_7,0,0\rangle$ |
| $t=(t_3,t_4)$ | $\langle l_6,0,0\rangle$<br>$\langle (l_6,l_7),-,2\rangle$ | $\langle (l_5,l_6),+,2\rangle$ | $\langle (l_6,l_7),-,2\rangle$ |
| $t=t_4$ | $\langle l_6,0,0\rangle$ | $\langle l_6,0,0\rangle$ | $\langle l_6,0,0\rangle$ |
| $t=(t_4,t_5)$ | $\langle L_{21}^{*},+,2\rangle$ | $\langle L_{22}^{*},-,2\rangle$ | $\langle L_{23}^{*},+,2\rangle$ |

其中，$L_{21}^{*}\in(l_6,l_7)$，$L_{22}^{*}\in(l_5,l_6)$和 $L_{23}^{*}\in(l_6,l_7)$是新的均衡。

比较方案(1)和(2)的仿真结果，分别对 3 个状态变量进行分析。首先比较状态变量 $x_1$在方案(1)和(2)的仿真结果如图 6-18 和图 6-19 所示。

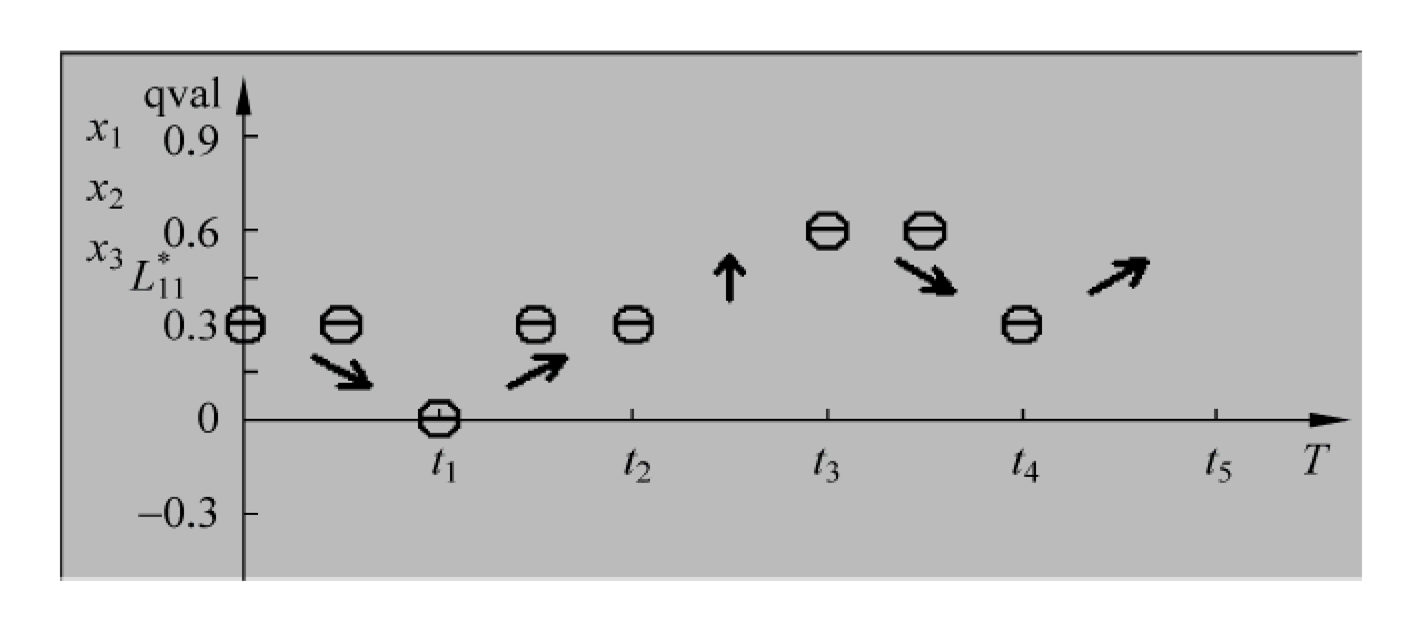



图 6-18　方案(1)中 $x_1$的变化过程

在方案(1)中，经济手段在时间段 $t_2$对 $x_1$产生了较大的影响，但是，因为 $x_1$在时间阶段$(t_1,t_2)$没有发生较大的变化，在时间阶段 $t_2$对 $x_1$产生较大影响的经济措施最终未能使 $x_1$变化很大。

在方案(2)中，尽管非经济手段在时间阶段 $t_2$对 $x_1$没有较大的影响，但是因为 $x_1$在时

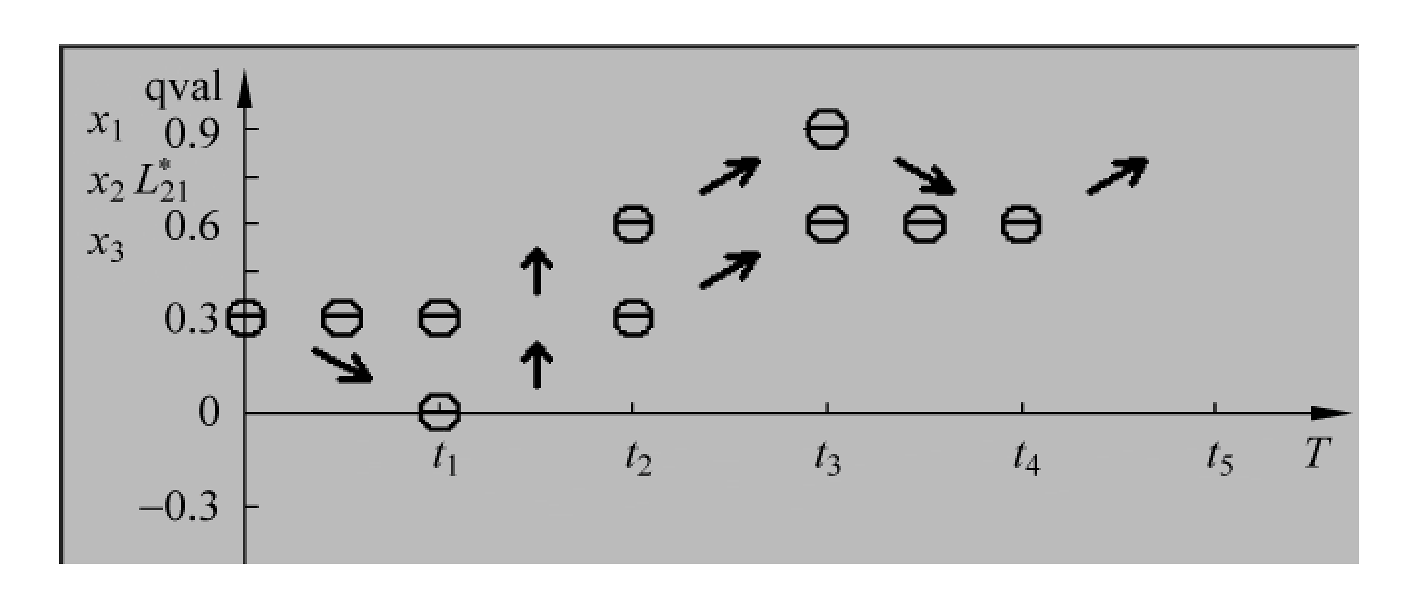



图 6-19　方案(2)中 $x_1$ 的变化过程

间阶段($t_1$,$t_2$)有较大的变化,在 $t_2$ 时到达了“高”状态,即 $l_5$ 和 $l_6$,这导致 $x_1$ 最终保持在比方案(1)较“高”的状态。

根据以上分析我们发现,较早采用经济手段可以使 $x_1$ 具有更好的变化。

状态变量 $x_2$ 在方案(1)和(2)的仿真结果如图 6-20 和图 6-21 所示。

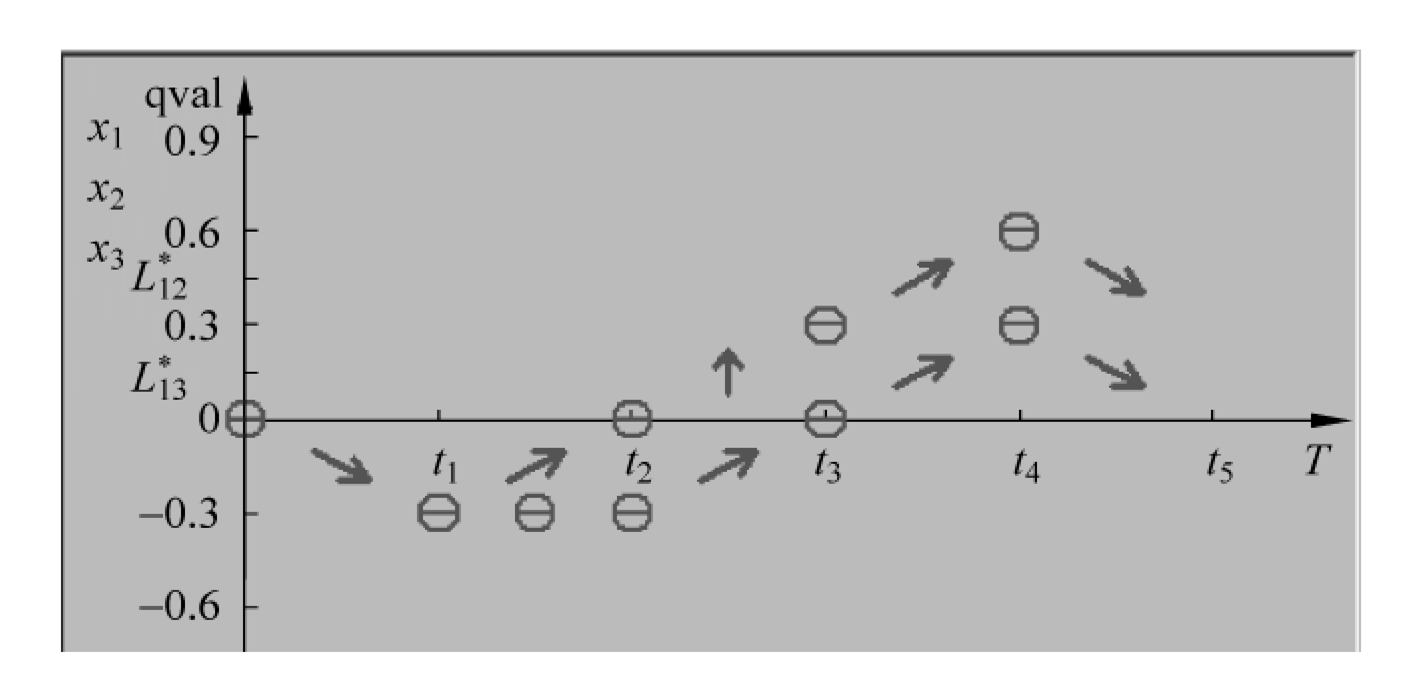



图 6-20　方案(1)中 $x_2$ 的变化过程

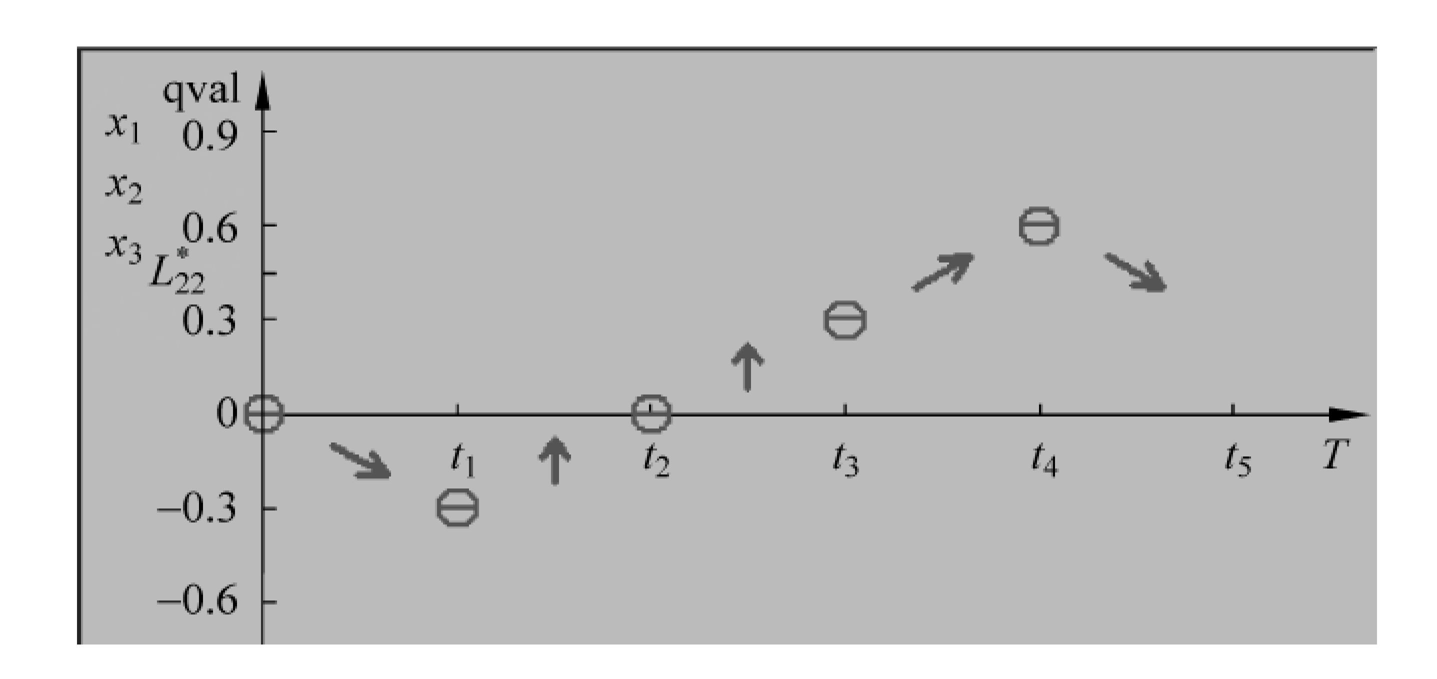



图 6-21　方案(2)中 $x_2$ 的变化过程

$x_2$ 的变化情形与 $x_1$ 有点相似。在方案(1)的时间阶段 $t_1$,非经济手段对 $x_2$ 没有较大的影响,导致 $x_2$ 在时间阶段($t_1$,$t_2$)产生了两种可能的状态,一是没有变化,另一个是与时间阶段 $t_1$ 的状态相比较稍微有一点变化。在此之后,$x_2$ 在每一时间阶段都有两种可能的变化,一个处于“高”位置,另一个则处于“低”位置。

在方案(2)中,$x_2$ 的变化比方案(1)更确定一些。在时间阶段 $t_1$,经济手段对 $x_2$ 具有较大的影响,导致 $x_2$ 在时间阶段($t_1$,$t_2$)产生了一个确定的大的变化,此后,$x_2$ 一直保持在"高"的位置。

根据以上分析可以发现,方案(2)比方案(1)使 $x_2$ 有更好的变化。在方案(2)$x_2$ 总是处在"高"状态,而在方案(1)$x_2$ 可能处在"高"状态或"低"状态。

状态变量 $x_3$ 在方案(1)和方案(2)的仿真结果见如图 6-22 和图 6-23 所示。

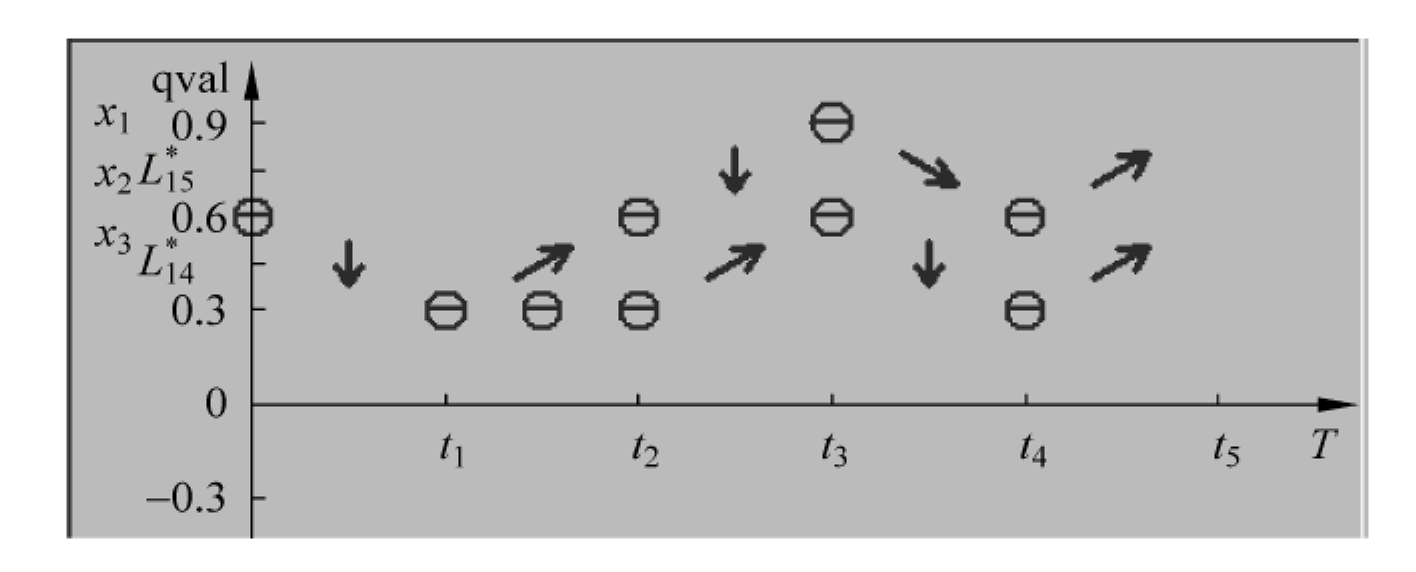



图 6-22　方案(1)中 $x_3$ 的变化过程

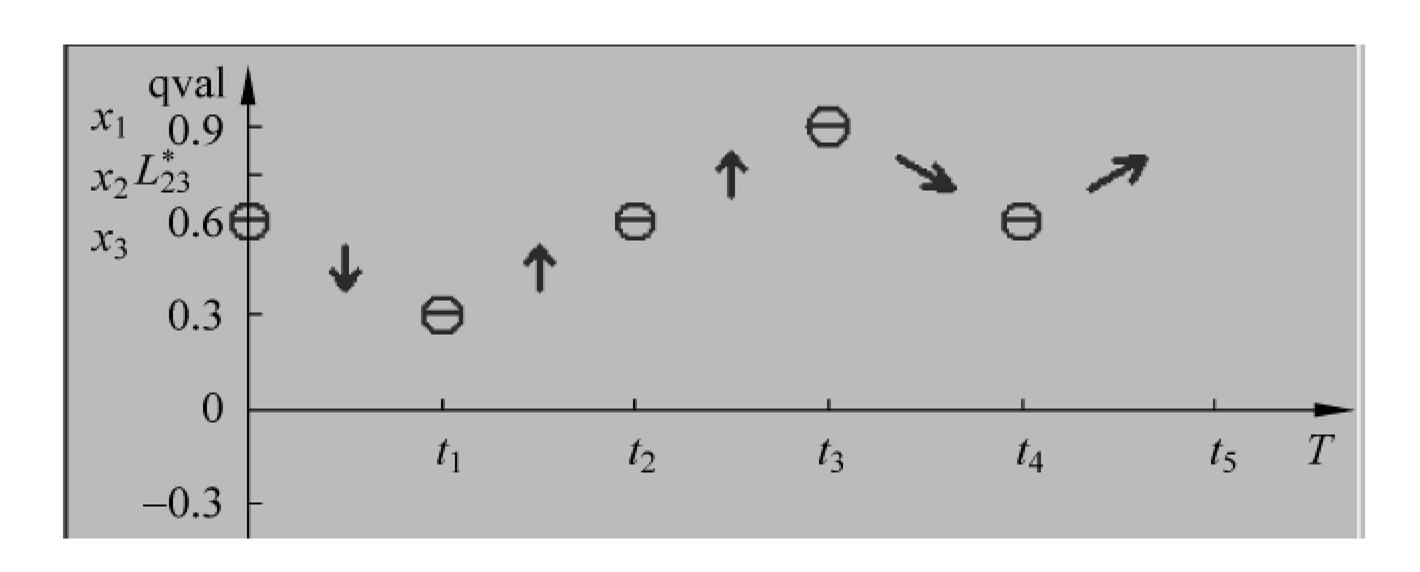



图 6-23　方案(2)中 $x_3$ 的变化过程

$x_3$ 的变化过程跟 $x_2$ 相似。在方案(1)的时间阶段 $t_1$,非经济手段对 $x_3$ 的影响不是很重,这导致 $x_3$ 在时间阶段($t_1$,$t_2$)有两种稍小变化,自此以后,$x_3$ 既可能位于"高"位置,也可能位于"低"位置。在方案(2)中,$x_3$ 一直位于"高"位置。

因此,通过以上两个方案的分析和比较,可以得出方案(2)比方案(1)更优的结论。如果高校有足够的经济支持,建议高校领导尽可能早地选择经济手段,在经济手段采取之后跟上政治思想工作,增强教师克服困难的信心,提高教师爱岗敬业、乐于奉献的职业道德,可以使教师工作行为保持在一个好的状态上。

## 6.6　本章小结

本章建立了 OEQS 模型(振荡—均衡的定性仿真模型),利用定性仿真的 QSIM 算法和 CR 方法以及 BP 神经网络算法对高校工作压力对教师群体行为的影响进行了研究。在定性仿真引擎的驱动下,压力源作为环境变量,压力管理作为决策变量,这两类变量作

为振荡—均衡模型的输入。压力反应分为生理反应、心理反应和行为反应，本章选择教师的工作行为反应作为模型的输出。高校的改革政策和社会对高校的影响，都会作为压力源/环境变量改变教师的工作压力，破坏教师原有的均衡状态，高校的压力管理/决策变量可以对教师工作行为回归到均衡状态起到调节和导向作用。该作用通过教师的“社会人”和“经济人”双重属性产生影响机制。通过社会场和成本场的引力相互作用，教师工作行为在振荡中逐渐收敛，达到新的均衡点。

高校压力管理作为输入会影响新的均衡点的位置。不同的压力管理方案将导致不同的对组织有利或不利的均衡点，利用振荡—均衡模型进行定性仿真实验，可以从高校多种可能采取的方案中选择最优的方案。仿真结果分析发现，压力管理中经济手段优于非经济手段，在条件许可下，应尽可能早地提高教师物质待遇。

本章重点描述了 OEQS 模型，并对该模型进行了确认，最后以一个具体的应用为例，证明 OEQS 模型可以作为辅助决策工具，对高校科学决策提供支持。

CHAPTER 7

# 第7章 高校工作压力对工作绩效影响的研究

## 7.1 引言

本章研究目的是高校工作压力对工作绩效的影响，使用的方法是基于元胞自动机（Cellular Automata，CA）仿真。CA 相关介绍见 3.4 节。元胞自动机是一类模型的统称，它由分布在空间中的元胞组成，这些元胞可以是一维、二维或多维空间，元胞可以取有限个状态，状态的改变只与邻近元胞状态相关，所有元胞按照相同的规则同时进行演化，整个系统表现出复杂性和规律性。

跟 Agent 方法相比，CA 具有以下不同的特点。

CA 和 Agent 在对象特性、演化规则、空间移动、系统结构等方面存在许多不同，Agent 系统层次分明，注重个体行为的变化，Agent 的个体可以具有不同的性质，具有智能性和自治性；其个体在空间中是可以移动的，个体不同，演化规则也不同，除了个体间的影响外，还要考虑个体与环境间的相互作用；CA 系统则是由同质的元胞构成的一个没有层次的群体，注重空间上所有元胞状态的演化。CA 的组成对象单一且具有同质性，其个体位置固定，只是将状态的转移视为个体的移动，影响个体状态的元素比较简单，只受局部元胞、本身状态和演化规则的影响。

7.2 节介绍了高校工作压力对工作绩效影响的问题分析，分为工作绩效的概念和工作压力—工作绩效的关系理论，7.3 节是基于 CA 的系统建模，包括 CA 模型、建模对象、状态及变量和局部规则，7.4 节设计并开发系统，7.5 节进行仿真实验，先设计了实验方案，然后运行并分析了结果，最后对本章进行了小结。

# 7.2　高校工作压力对工作绩效影响的问题分析

## 7.2.1　工作绩效的概念

工作绩效(Job Performance)是指个体对工作贡献的价值、工作的品质或数量，即个体的生产力。伯尔曼和摩托威德罗在 1993 年将工作绩效分为了两大类，即任务绩效和周边绩效。任务绩效(Task Performance)是指与个人能力以及对工作任务熟练程度相关的工作绩效，它与具体的工作内容、工作知识息息相关。主要包括诸如把原材料转化为产品和服务等与生产和服务相关的活动；诸如分配产品，提供计划、监督、协调和参谋职能等通过补充原材料来维持和服务的核心技术。不支持本身核心技术的则是周边绩效(Contextual Performance)，它具有更为宽广的社会、心理和组织环境，只有在此环境下才能运行核心技术；这种行为十分重要，虽然对于维护和服务组织的技术核心没有直接的关系，但能更好地运作在高校环境下，能让高校实现远期战略发展。

斯考特和摩托威德罗于 1996 年调查研究了周边绩效，发现周边绩效可以分为工作奉献和人际促进。工作奉献是指对遵守规定、克服工作困难并努力工作奉献的自我约束行为；人际促进行为是通过帮助他人，搞好组织的人际关系，获得更为有效的工作绩效行为。康维在 1999 年的时候研究得出上级评估注意到任务绩效，人际促进更多的被同伴所注意。

周边绩效包括保持良好工作关系的动机，人际关系技能，有效地帮助他人完成工作任务；任务绩效强调有效完成自身任务的动机和任务熟练(Task Proficiency)。Scotter 和 Motowidlo 在 1994 年做了一个实验来弄清任务绩效和周边绩效之间的区别，他们通过上级对多名空军机械师的评价来进行测试得出了一个结论，任务绩效和周边绩效共同作用于整体绩效，它们是相互独立的，但个性变量与周边绩效是密切相关的。本章的工作绩效主要指任务绩效。

## 7.2.2　工作压力—工作绩效的关系理论

自 20 世纪中期以来，许多学者对工作压力与工作绩效关系的探讨做过大量的实验，而工作压力与工作绩效的关系一直是心理学和管理学所研究的热点问题。它们中有代表性的理论有很多。表 7-1 进行了相关理论的归纳。

**表 7-1　工作压力与工作绩效的关系理论**

| 理论 | 代表人物 | 主要观点 |
| --- | --- | --- |
| 互动理论 | Yerkes 和 Dodson(1908)，Andrson(1976) | 低水平或者温和的压力源对工作效率起到积极的作用，但是过高的压力源则是消极因素，成为一种冲突的力量，即工作压力与工作绩效是倒 U 形关系 |

续表

| 理论 | 代 表 人 物 | 主 要 观 点 |
|---|---|---|
| 冲突理论 | Miller(1960,1978),Janis 和 Mann(1981),Jamal(1984),Seipp(1991) | 冲突理论认为,工作压力与工作效率之间是相互冲突的,这种理论坚持:压力与工作业绩的负线性关系以及二者之间的零关系 |
| 压力管理理论 | Hebb(1958),Scott(1966),Hall 和 Lawer(1971),Welford(1973),McGrath(1976) | 从压力管理理论的说法来看,工作压力是工作的推动力,是激发个人积极创造良好的工作业绩以及更好地服务,而好的压力管理则可以让工作业绩节节攀升,所以,对于个人绩效而言,工作压力有积极效应 |

### 1. 互动理论

在早期的工作压力与工作绩效的研究中,叶柯斯和道德森(Yerkes 和 Dodson,1908)通过对老鼠实验得出了刺激力与业绩之间存在图 7-1 所示的倒 U 形关系,并得出了一个著名的 Yerkes-Dodson 法则,这个法则的内容描述了对于处在一种充满压力的工作状态下,有一种刺激力的最佳水平能够使业绩达到顶峰状态,过小或过大的压力都会使工作效率降低。换言之,当压力较小时,人的精神处于放松状态,工作乏味,毫无乐趣可言,工作效率自然不会高;但是当压力慢慢增大后,压力也可以转变为一种强劲的动力,鼓舞人心,让人的工作状态慢慢处于最佳状态,效率会逐渐得到提升;当压力恰好等于人的最大承受能力时,人的工作状态处于最佳,工作效率处于最大值;但当压力超过了人所能承受的范围时,压力转变为了阻力,使得效率降低。

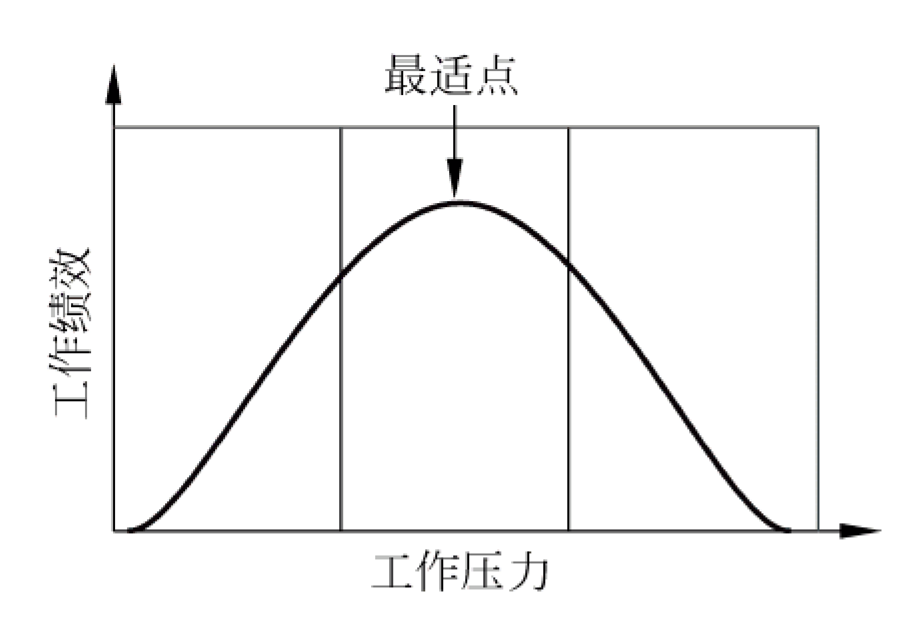



图 7-1　Yerkes 和 Dodson 工作压力与绩效倒 U 形关系

基于这一模型的互动理论认为,对人的工作效率而言,低水平的或温和的压力源起一种激励和积极的作用,而过高的压力水平则是一种冲突的力量和消极因素。当压力变得特别大时,这种压力可能会过度干扰工作业绩,包括高于和低于最佳水平,业绩会产生恶化,处在其他的刺激物水平。两者关系的基本原理是当一个个体经历一种低水平的压力时,他或她没有被激发活力,并且不能明显地改进其业绩;当个体经历过高水平的压力时,他或她可能会花费更多的时间和其他的智谋用于对付压力,并且投入较少的努力用于完成任务,从而导致业绩相当低的水平;适度的压力在工作业绩中能激发个人的活力和投入最大的能量(Sullivan 和 Bhagat,1992)。应找到这个最佳点,并以此为标准,当压力较小时应适当增加压力,当压力较大时应缓解压力。

通过对大飓风的破坏造成的"感知压力"及其后的商业绩效的研究,1976 年安德森验证了工作压力与工作效率二者之间是一种倒 U 形关系的假说(Anderson,1976)。但是

这个研究把分析对象确定在开办自己业务的个人，是自我雇佣的，而对在压力下组织中成员的业绩发现所进行的分析很少。他运用的测量指标得出的结果是一种“紧张”而不是压力。这个测量可验证性不强，因为没有提出实际的应用办法。

后来的研究者，对于压力与业绩倒 U 形关系问题批评较多。1987 年金对工作压力倒 U 形关系模型研究认为，压力和激励这两种不同的情绪状态对业绩的作用是对立的，压力产生简单的破坏影响而激励强化业绩。如果忽视任务的困难，并且混淆了两种情绪及方法，那么可能得出介于某一事件与业绩之间的倒 U 形关系的结果（King 等，1987）。Nataanen 1973 年时认为，他们把压力与激励互相混淆并且这种理论弹性太大。通过对业绩与以往文献回顾的结论，在 1988 年、1990 年 Neiss 否定了二者之间的倒 U 形关系的观点。通过集中地推断评价了来自这个领域研究的证据，他进一步认为那些对倒 U 形关系假说的支持是有欠缺的和主观的。

奇怪的是，关于压力与业绩的倒 U 形关系仅仅通过实验室的试验进行了证明，很少在实际工作情况下验证，但是倒 U 形理论却在缺乏实例支撑的情况下存在了差不多一个世纪。在此期间，理论家们假定其合理性，广泛地引用和讲授，为其详细解释、论述和辩驳，使之得到了很高的赞誉。但是，倒 U 形模型来源于对老鼠的试验，在没有任何人类实例的基础上，将结论直接推及到人类行为上，其效果和可信度是需要仔细斟酌的。而且，在对老鼠的试验中存在着一些无意的人为干扰，使得试验结果有可能与客观事实不相符合。

**2. 冲突理论**

冲突理论认为，工作效率与工作压力之间是相互冲突的，作为工作效率的预测器，工作压力与工作业绩只是负线性关系以及二者之间的零关系。

1978 年，科学家米勒发现，在同一个系统中，压力源造成了信息的超负荷。对相关信息的不重视，对不正确信息的控制、处理不当，对某些信息的丢失毫无察觉，对潜在的相关信息的忽略等，使雇员的工作压力增大，发生错误的可能性也就大大增加。工作压力的增大，在很大程度上影响了雇员的工作效率，首先，业绩目标的价值或吸引力直接增大了雇员的压力；其次，造成目标实现的行动或努力的预期可能性也是压力的来源之一；另外一个重要的压力源就是激励力量。1960 年，米勒认为，“这些压力源的出现，干扰了准确信息的流动”。1973 年，劳勒认为行动或其将导向的预期可能性的降低将使工作业绩的过程受到干扰。但是，在高度的压力下，注意力太过集中却会降低一个人的判断能力，犯错误的可能性也会增大，对工作重要性与非重要性的判断能力也会随之下降，出现降低工作效率的结果。1981 年，简斯和曼建成了基于压力下的领域决策的研究模型，对压力造成的个人集中在过去已知的反应进行了一系列假设。他们发现，面对从未做过的工作或是精神高度紧张时，所完成的任务质量也会相对较差。1984 年，Jamal 通过研究发现，通常状况下，人们所受压力的大小与所完成业绩的优劣成反比。1982 年，艾顿和拉伟德分别通过实验发现，低预期对业绩是有害的。焦虑与压力有关，1991 年随普在调查

中发现，焦虑程度的高低与完成的业绩形成很不理想的负线性关系。威斯特曼和艾顿分别从主观和客观方面对工作状况进行了评价。在对以色列国防部军官学校学生所面对的工作压力及其完成任务的质量之间的关系进行了调查，发现人们所面对的压力和工作的效率形成一种负线性关系。高度压力的结果是低效率的业绩，即压力的大小与工作效率成反比。

Bramis 从工作压力源的角度进行了研究，以检验工作压力与工作效率之间可能存在的关系。他把底特律地区的雇员作为研究样本，研究结论认为干扰他们的工作业绩的因素表现为两个极端：或者能力超过需要或者能力达不到需要。换句话说，一个人的工作能力与工作需要符合度越高，完成任务的效率就越高，所受压力的大小与完成任务的效率成反比。不难看出，一个人面对压力的大小与完成任务质量之间的关系不容乐观。不管人们所受到的压力是来自角色冲突还是角色模糊，对工作业绩的影响都会是消极的。对工作压力的来源、精神紧张和工作效率的界定从某种程度上对压力进行了区别。艾布拉密斯以一周作为时间单位对压力的来源进行了测定，以不同时间为单位来测定压力及其来源会得到不一样的结果，急切的压力来源在某些情况下可以对工作效率产生积极的影响，或者形成一条倒 U 形的曲线关系。合理调整短期内的压力来源，从而减少长期压力，也可能会产生积极的影响或者倒 U 形曲线关系。同理，长期的压力可能对工作业绩产生负面影响，短期的压力却可能让人们更加充满活力，对工作更加充满激情，从而提高了工作效率。

现有的研究指出，从压力所造成的消极影响来说，人们所面对的工作压力与其所取得的效率往往呈负线性相关。所有的压力都是负面的和具有破坏力的吗？这一问题应该从多个方面来说，不能得出某个单一片面的结论，它需要辩证地来讨论。在发达国家，生活压力的增大，使人们所面临的工作压力也相对较大，因此他们所面对的压力的消极因素较多。而在经济文化相对偏低或生活条件低下的国家，人们所面对的工作压力却是不同的。在现今社会所存在的针对跨越文化和地区的研究调查却少之又少，大多只注重某一方面的影响，对其他方面却视而不见。

**3．激励理论**

斯格特 1966 年发表了激励理论："工作压力对个人绩效是一种积极的关系，它是工作效率和活力源，是激发个人创造良好业绩的一种挑战，也是激励个人产生良好的工作绩效的催化剂和推动力。"斯格特对人们的工作业绩提出了"激活"的特征，即人的需求可能引起神经活跃，而人的警觉程度则可能增加。通过外力对人的心理、生理的唤醒，激起更高的需要和动机，从而使人在工作之中有了更激昂的情绪，同时诱发人们创造更多更好的业绩。所以说，压力提高了人们的工作效率。斯格特以及后来研究者 Hall、Lawer(1971)、McGrath(1976)以及 Welford(1973)都能验证：工作压力的激励效果要大于其干扰的作用。显然可以得出结论："工作压力和工作效率之间呈现出一种积极的关系。"

塞尔耶 1974 年曾提出一种说法，"压力对于个人的成长有着重要的作用，它可以加

深人的意识，增强人的心理警觉，从而导致人的高级认知与行为表现。”从这句话中可以看出，压力给人一种激励，它促进我们成长，给予我们挑战。塞尔耶说，如果没有压力，人反而可能死亡。赫布 1958 年也强调，“适度的压力水平可以使人提高工作效率。”压力可以提高一个人的工作效率。压力像空气一样是无处不在的，我们不是要消除压力，而是要控制压力，使其可以给我们的学习和工作带来效率。汉英 1980 年指出，“每一个人有一个工作压力最优功能区，当他们的压力处于这一区域时，他们的工作效率是最优的；而与之相反，只要他们的压力水平在这一区域之外，工作效率就会受到干扰和破坏。”可以看出压力的作用有好有坏，我们的目标就是要找出压力对我们好的一面，使其为我们的业绩带来激励。

可是，很少有人支持这种观点。虽然这个理论存在一个缺陷，但是它开阔了人们的视野。可以从一个新的视角看出压力的积极作用有一个度的问题，一旦超过这个“度”了，对我们肯定有害，压力压死人的事还少见吗？所以说关于如何找到最优的度，应该有一个解决方案，但是这个理论观点并没有给出确切的方法，因此，还需要进一步研究验证这个理论。

## 7.3 基于 CA 的系统建模

面对目前的工作压力，高校教师在从众行动前，首先会衡量值不值，不同的个人衡量的标准会有所不同，有的强调名声名誉，有的强调经济利益，这就是利益衡量的过程。衡量的时候，成员之间会相互影响和靠近，结果产生时间延迟；然而随着时间的推移，可能就会是产生了信息失真，即相互影响和互补会逐渐失去原来的内涵；还需注意特别人群，他们具有与众不同的衡量标准和价值观，因此表现出另类的行为，是个别的而非群体的行为表现，可视为行为突变。综上所述，教师群体及其行为跟普通群体一样，表现出显著的复杂性，即涌现性和波动性。

要使用 CA 对高校教师群体的工作压力—工作绩效进行建模，还是要先了解基本 CA 模型。

### 7.3.1 基本 CA 模型

图 7-2 中的栅格板表示一个基本的元胞自动机模型。仿真对象的规模可以决定栅格板上元胞的多少，如 5×5 或 50×50。每个元胞都有若干个相邻的元胞，根据相邻元胞个数分为多种类型，相邻数为 4 的称为冯·诺依曼型，相邻数为 8 的称为摩尔型，如图 7-2 所示，黑色的为对象元胞，灰色的为相邻元胞。本章使用 Moore 型，黑色元胞有 8 个灰色相邻元胞。

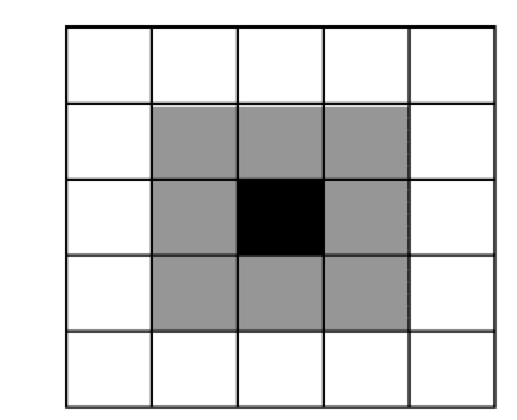


图 7-2 Moore 相邻关系模式



元胞自动机模型的基本构成如图 7-3 所示。

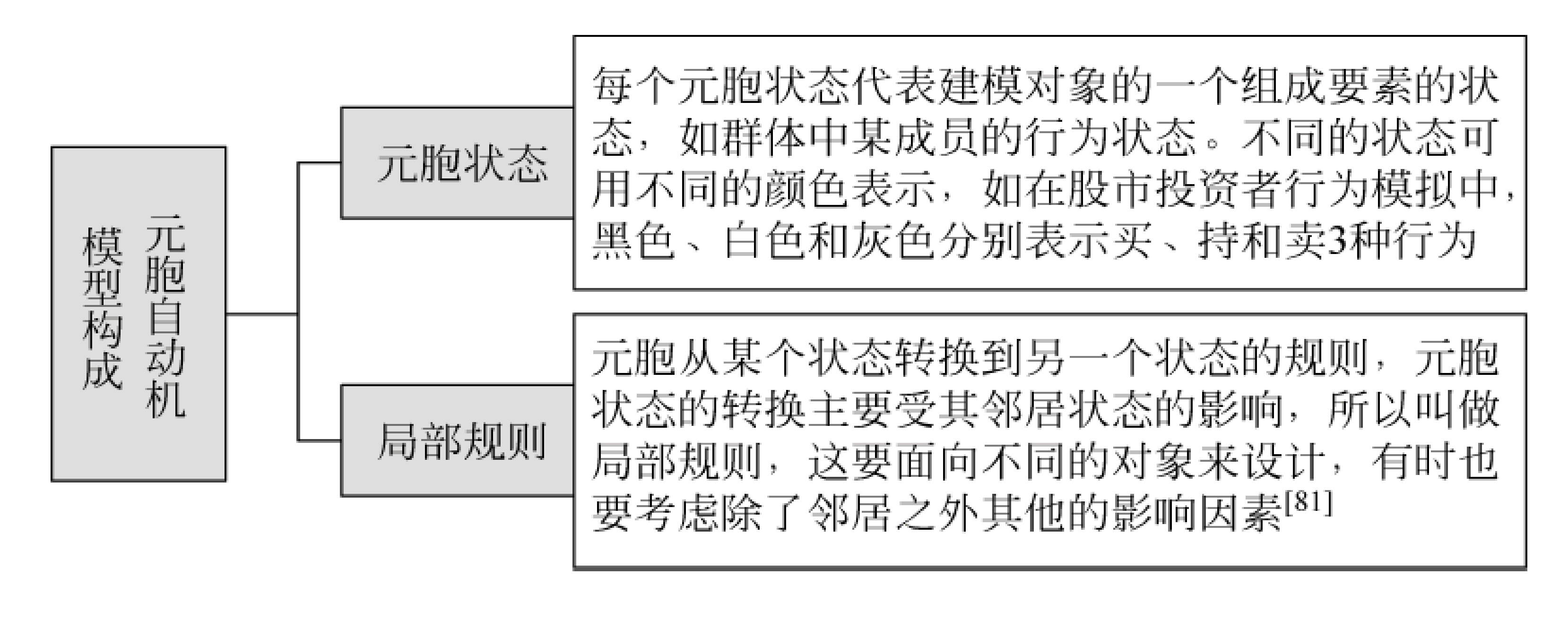



图 7-3　元胞自动机模型的构成

元胞自动机属于离散型仿真，并且在转换规则的作用下所有元胞同时进行状态转换。

## 7.3.2　建模对象

如图 7-4 所示，高校教师群体工作压力—工作绩效视为一个系统，包括 3 个部分：输入部分，即工作压力；输出部分，即高校教师工作绩效和评价；内部结构，即高校教师群体成员。

高校教师在群体成员的定义上是有着一定特性区别的，在处理不同问题的基础上，特性的区别又有着不同的分法，其特性主要分为两大集合，即社会人和经济人；而定义有关市场上的消费群体时，又分为两个不同的集合，即激进和保守类。这里要强调的是，一个单纯的人在集合上不会出现绝对的隔离，只是在程度上会产生侧重，如图 7-5 所示。

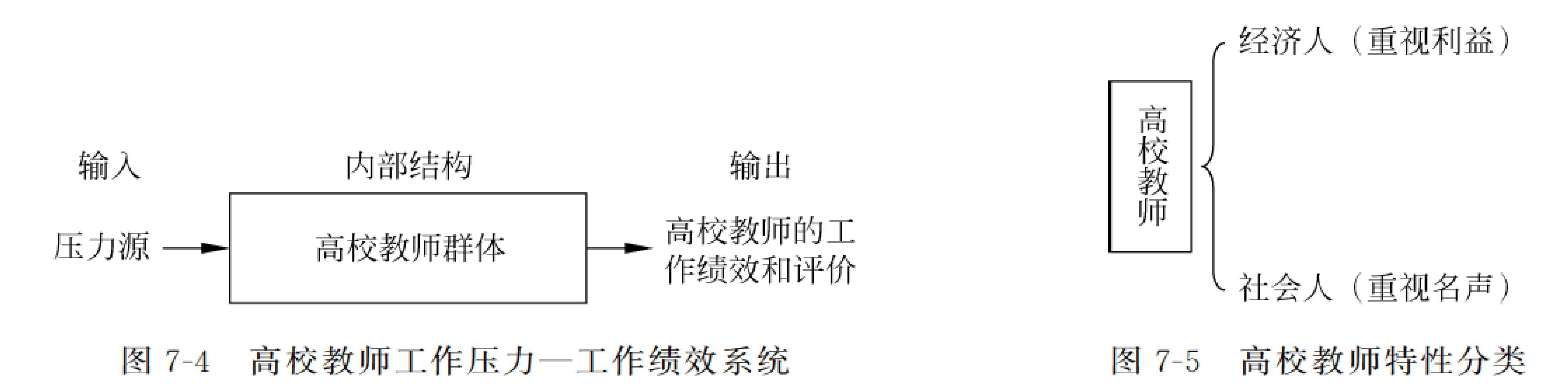



图 7-4　高校教师工作压力—工作绩效系统

图 7-5　高校教师特性分类

众所周知，高校教师的行为表现跟他们所被划分的固有特性是息息相关的。例如，组织管理者们常常会采取一些新型的压力管理措施，以此提高教师们的工作努力度。在此基础上组织管理者们常常又会顾及一些利益，视其是否值得。这种利益划分为两类，如图 7-5 所示，经济性利益以及社会性利益。每个教师都是这两种利益的混合，只不过在行为选择上各有侧重而已。

在受组织的压力管理措施以及邻居行为的影响之下，高校教师的响应行为不会立刻产生本质性改变，只有在其维持了一段时间之后，同时在邻居之间的影响之下，也会由于教师相互影响能力逐渐地传递而减弱。这种行为是不带有任何指向性的，这里可以使用“工作努力度”为例，下文同此。

在上述的两大集合框架之外，群体中总会存在另类的成员，他们的行为标准是非理性的，只是根据自己的好恶不断变化，其行为是脱离以上描述的两大框架之外的。

## 7.3.3 状态及变量

参数 $S_{(i,j)}(t)$ 为栅格板上第 $(i,j)$ 个元胞在 $t$ 时刻的状态值，有

$$S_{(i,j)}(t) = \{x \mid 0 \leqslant X \leqslant 1\}$$

即 $x$ 的值处于 0～1。当 $X=1$ 时表示该成员的工作努力程度为非常大，用黑色表示。当 $X=0$ 时表示非常小，用白色表示。设 $S_{(i,j)L}(t)$ 为其邻居的状态。

图 7-6 说明第 $(i,j)$ 个元胞及其邻居的状态，第 $(i,j)$ 元胞是浅灰色的，表示压力努力程度较小，其邻居元胞如第 $(i-1,j-1)$、$(i-1,j+1)$、$(i+1,j)$ 颜色都是白色，表示压力努力程度最小，而邻居元胞第 $(i-1,j)$、$(i,j-1)$、$(i,j+1)$、$(i+1,j-1)$ 颜色都是深灰色，表示压力努力程度较大，特别是第 $(i+1,j+1)$ 元胞颜色是黑色，表示压力努力程度最大。每个元胞的状态对应每个教师的行为表现。

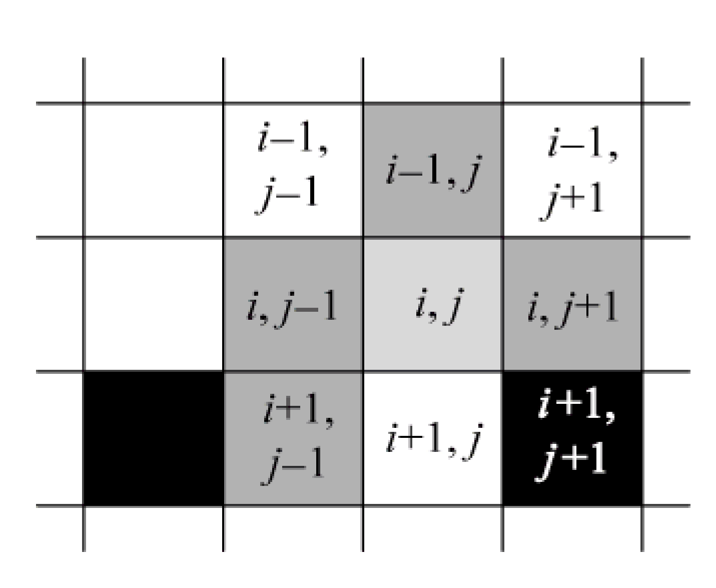


图 7-6 CA 模型

对于群体中各成员的行为特性，用 $P_{(i,j)}$ 和 $P_{(i,j)L}$ 分别表示第 $(i,j)$ 个元胞及其邻居的特性。都有 $P_{(i,j)}$ 或 $P_{(i,j)L} = \{y \mid 0 \leqslant Y \leqslant 1\}$，即 $y$ 的值也处于 0～1。当 $Y=1$ 时说明该成员是绝对的社会人，当 $Y=0$ 时说明该成员是绝对的经济人，其他的都介于两者之间。

设 $M_{(i,j)}$ 为压力管理措施，都有 $M_{(i,j)} = \{z \mid 0 \leqslant Z \leqslant 1\}$，即 $z$ 的值也处于 0～1。当 $Z=1$ 说明该组织实行了完全的社会措施，当 $Z=0$ 时说明该组织实行了完全经济措施，其他的都介于两者之间。

## 7.3.4 局部规则

高校教师（元胞表示）在某一时间段的行为（对应元胞的状态）由综合因素共同作用所决定：该教师在上个时间段的行为、其邻居的行为、该教师的特性以及组织的压力管理措施。当实行不同的压力管理措施时，教师行为从中心向周围发散性地传播，在压力管理开始阶段教师（元胞）更多地被靠近中心的教师行为（相应元胞状态）所影响，当压力管理效果开始递减的时候，教师更多地被靠近外侧的邻近教师所影响（胡斌，2004）。用函数形式表示为

$$S_{(i,j)}(t+1) = F(S_{(i,j)}(t), S_{(i,j)L}(t), P_{(i,j)}, M_{(i,j)})$$

### 1. 一般规则

$$S_{(i,j)}(t+1) = S_{(i,j)}(t) + \frac{\sum_{k=1}^{m}(S_{(i,j)L}(t)_k - S_{(i,j)}(t))}{m + (M_{(i,j)}(t) - P_{(i,j)})} \tag{7-1}$$

其中，$S_{(i,j)}(0)$表示初始时刻群体成员的状态，这里取 $m=8$，即邻居元胞的个数。

**2. 对一般规则进行修正**

1）考虑时间延迟的修正

如果不考虑时间延迟的影响，某元胞行为响应从 $S_{(i,j)}(t)$变化到稳定值 $S_{(i,j)}(t+1)$，其时间响应为一个步长，如图 7-7(a)所示。考虑时间延迟的情况又分两种：当时间延迟较短时，时间响应为两个步长，如图 7-7(b)所示；当时间延迟较长时，时间响应为 3 个步长，如图 7-7(c)所示。

根据上述修正思路，对于延迟时间较短的情况，式(7-1)修正为

$$S_{(i,j)}(t+1)=\frac{S_{(i,j)}(t)+\dfrac{\sum\limits_{k=1}^{m}(S_{(i,j)L}(t)_k-S_{(i,j)}(t))}{m}+(M_{(i,j)}(t)-P_{(i,j)})}{2} \tag{7-2}$$

当延迟时间较长时，式(7-1)调整为

$$S_{(i,j)}(t+1)=\frac{S_{(i,j)}(t)+\dfrac{\sum\limits_{k=1}^{m}(S_{(i,j)L}(t)_k-S_{(i,j)}(t))}{m}+(M_{(i,j)}(t)-P_{(i,j)})}{3} \tag{7-3}$$

2）考虑信息失真的修正

信息失真用影响系统 $\omega$ 表示，如图 7-8 所示，这种失真影响将会逐渐减弱到消失。$\omega=\{w \mid 0\leqslant W\leqslant 1\}$，即 $w$ 处于 0～1，当 $W=1$ 时说明压力管理措施刚出台时，其影响力为 100%，当 $W=0$ 时(时间阶段 $t+r$)说明组织采取的压力管理措施的影响全部消失。具体来说 $r$ 值的确定由实际情况决定。

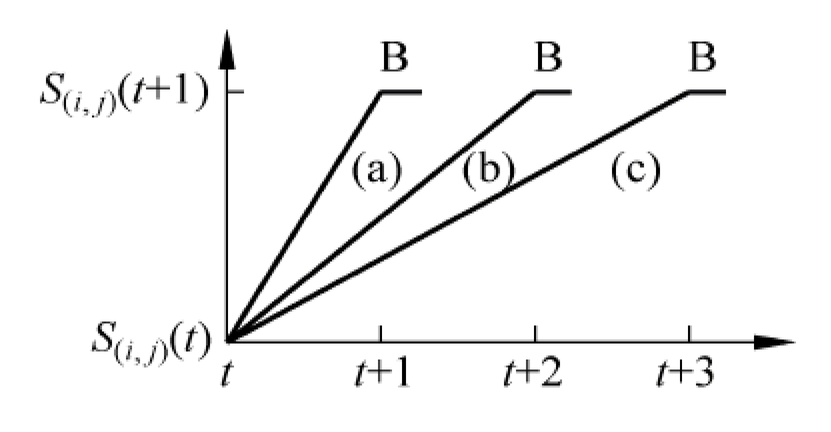



图 7-7　时间延迟的修正

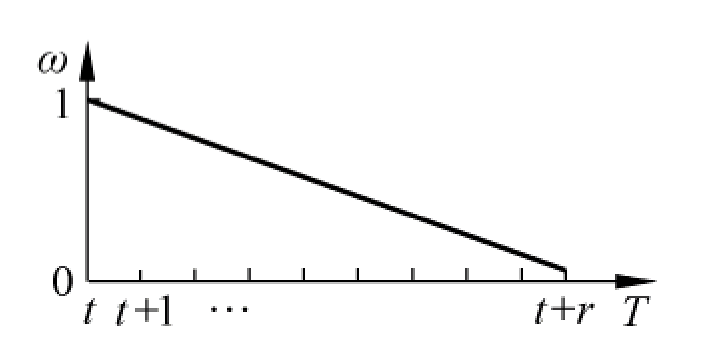



图 7-8　信息失真影响系数 $\omega$

对于 $\omega$ 的取值算法：

For $t=1$ to $L$

$\omega=1-t/L$

Next $t$

式(7-1)、式(7-2)和式(7-3)调整为

$$S_{(i,j)}(t+1)=\omega * S_{(i,j)}(t+1) \tag{7-4}$$

3）考虑另类成员的修正

由于另类成员行为的无规律性，用(0,1)之间的均匀分布随机变量表示，即

$$S_{(i,j)}(t+1) = \text{rand}(\quad) \tag{7-5}$$

## 7.4 系统设计与开发

采用 Visual Basic 6.0 开发高校教师群体压力管理—工作绩效的仿真系统，如图 7-9 所示。假设某个高校教师人数为 10000 人，取“元胞规模”$n=100$。“人员属性”选择“不设置”，系统将随机生成高校教师群体中成员的特性比例(社会人及经济人所占比例)。“时间延迟”单击 t1，表示没有延迟。

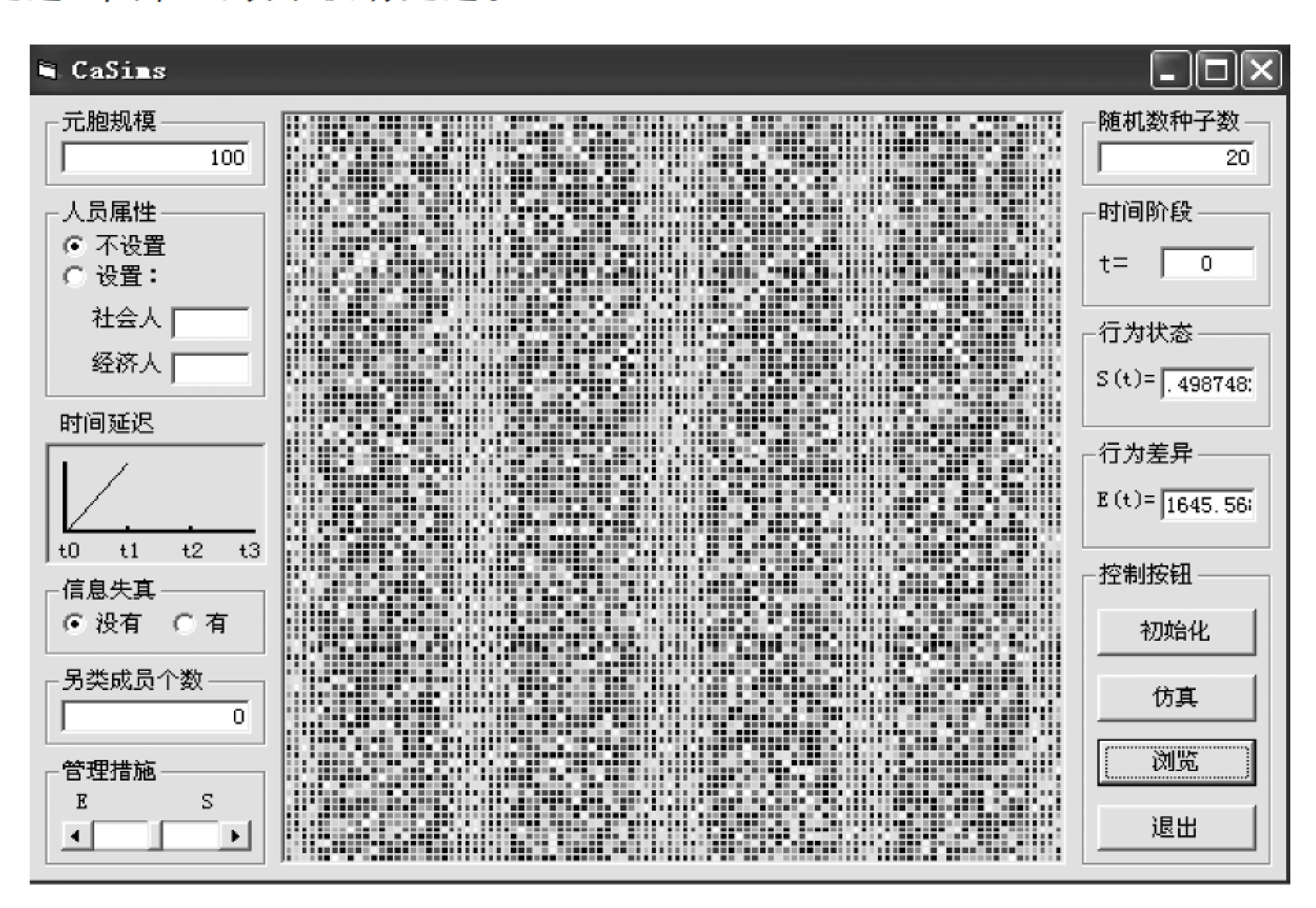


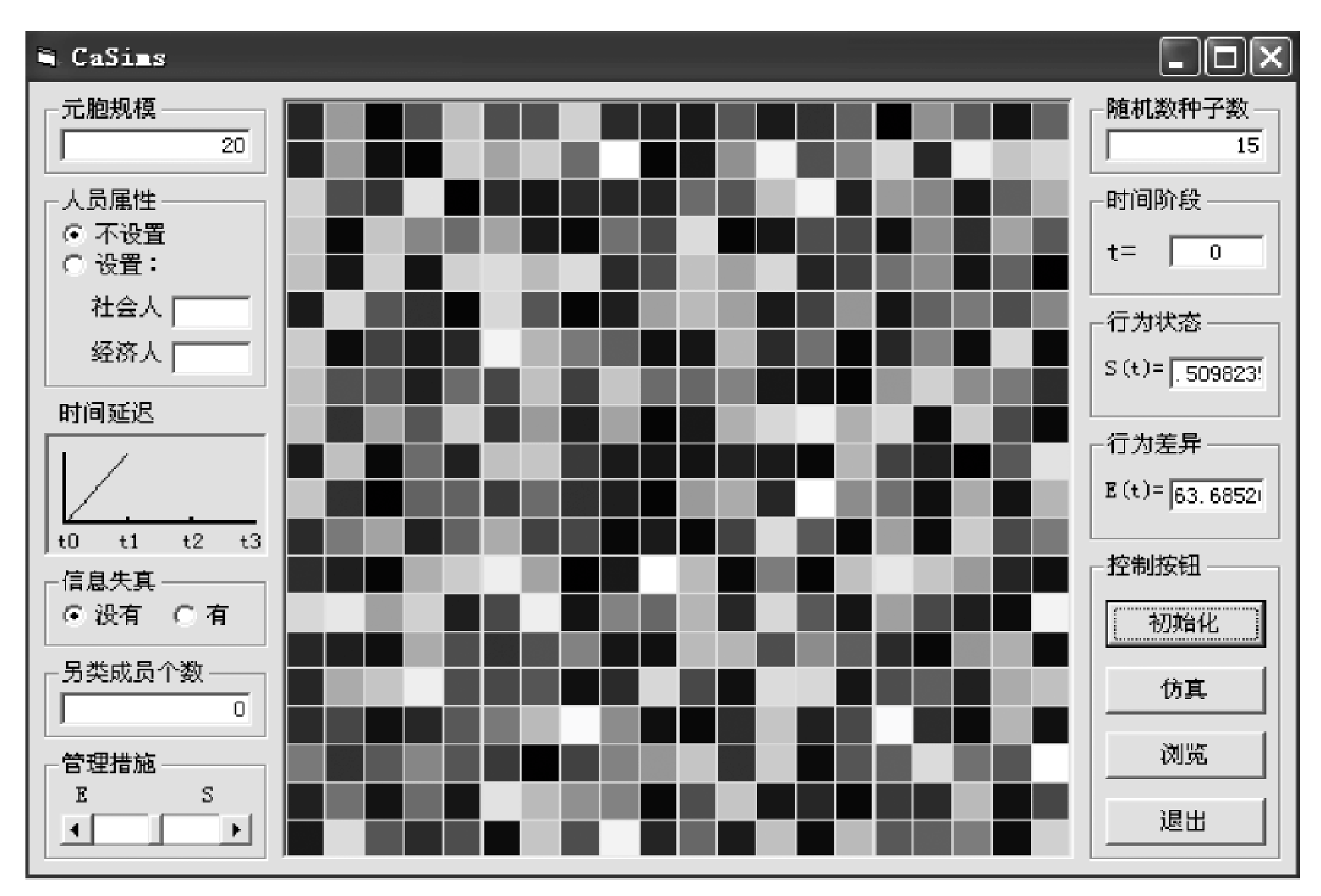

图 7-9 CA 仿真系统

“信息失真”选中“没有”单选钮，表示组织的压力管理措施不随时间而衰减。“另类成员个数”输入某个值，表示该组织中随机行为的人数。“管理措施”可拖动滚动条，靠近 E 表示经济措施加强，靠近 S 表示社会措施加强。“随机数种子数”中输入某个值，将影响高校教师群体行为的初始状态。“时间阶段”中 $t$ 表示仿真总步长，系统每次增加 1 个步长。

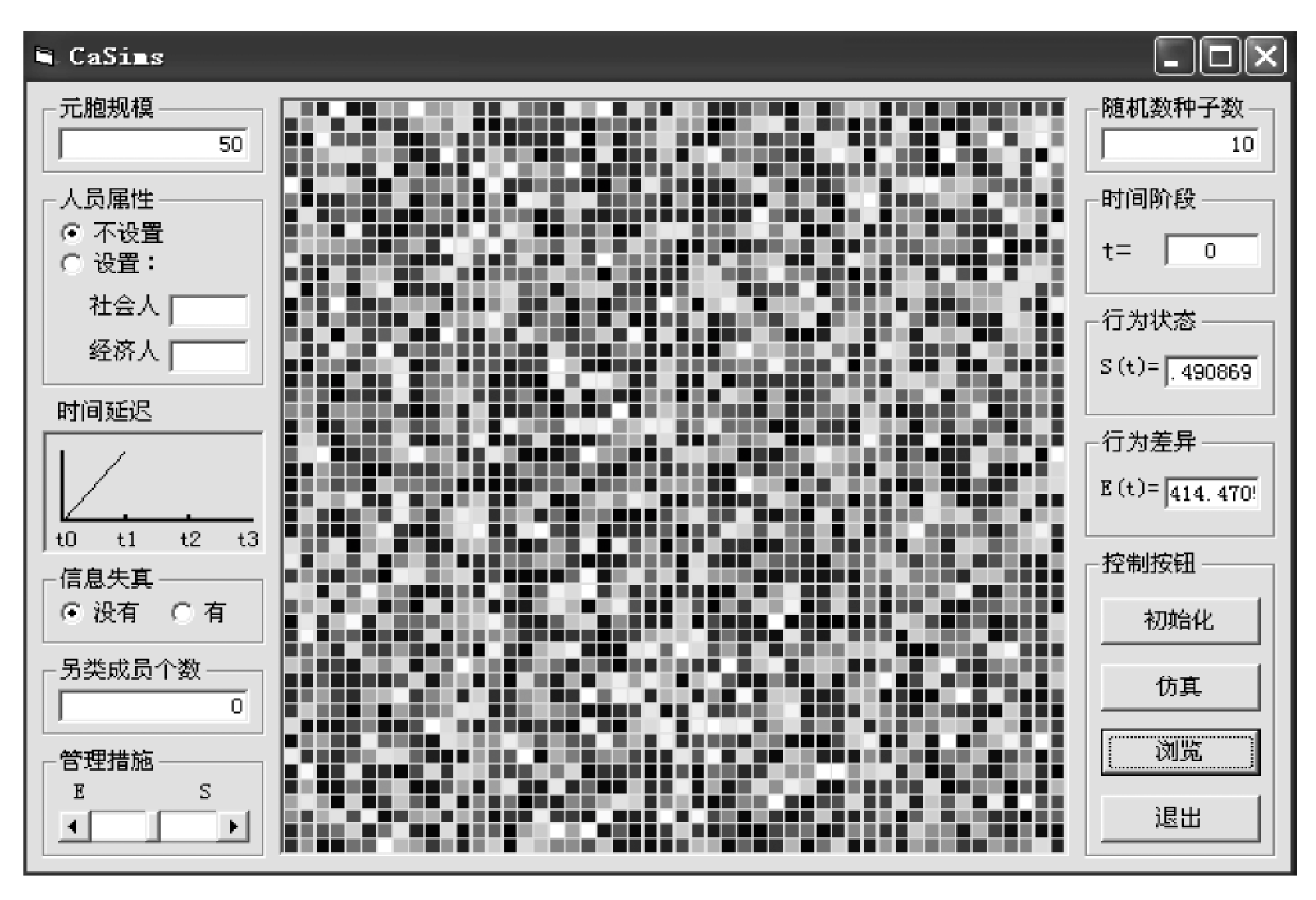
高校教师群体在时间阶段 $t$ 的行为状态 $S(t)$ 算法为

$$S(t) = \frac{1}{\text{元胞个数}} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \frac{S_{(i,j)}(t)}{255} \tag{7-6}$$

CA 仿真系统在不同元胞规模情况下的演化如图 7-10 所示。




(a) 400元胞规模




(b) 2500元胞规模

图 7-10　不同元胞规模情况下的演化

## 7.5 仿真实验、确认与分析

本节采用定性确认的方法,其确认步骤设计如下。

(1) 描述一个高校示例。

(2) 基于该示例,组合不同的时间延迟、信息失真和压力管理措施,形成多个实验方案。

(3) 运行每个方案,得到教师群体的工作绩效。

(4) 将输入/输出与组织行为学进行比较,如果与常识相符,说明 CA 的定性仿真模型是合理的,确认通过;否则,确认不通过。

首先描述某高校教师群体的基本特征如下。

(1) 经济人占绝大部分,社会人只占小部分。

(2) 由于该高校的教师群体是刚刚形成的,大家彼此都还陌生,对对方的生活习性不熟悉,相互之间交流的信息就会存在一定的失真现象,虽然大家彼此的行为影响存在一定的时间延迟,但由于刚刚的接触认识,相互之间信息还是比较失真的,所以他们之间影响的时间延迟比较短;慢慢地,大家彼此熟悉了对方,信息失真的现象就不会存在了,但是由于彼此相处很随意的原因,使得相互影响的时间延迟变长了。

(3) 元胞成员的人数是 900,另类成员的人数是 100。

本书针对上述群体,在不同方案下进行比较其压力管理效应传播效果,进而探究工作压力扩散和工作业绩之间的联系。

### 7.5.1 实验方案设计

接下来在构建的高校组织之上,设计各种不同的实验方案。本书采取 5 种方案 20 个时间段的仿真实验,并且对实验的前提条件进行了预先的假设。设前 10 个时间段,即 $t=1$ 到 $t=10$ 的时间段为各个成员之间不熟悉的时间段,后面的 10 个时间段是成员之间彼此熟悉的时期。按照高校教师群体的上述特征,在 $t=10$ 以前,存在时间延迟和信息失真的现象;在 $t=11$ 之后,存在长时间的延迟和信息失真现象。因为成员中的大部分人是经济人,所以经济类的措施实施后会得到好的压力管理效果,此处的管理措施设计为:E、2E,它们分别是一般压力管理措施和强力压力管理措施。在本实验中,高校教师绝大部分是经济人,社会人占少部分。教师不熟悉阶段时间延迟是 $t_1$,教师熟悉阶段的时间延迟是 $t_3$。压力管理措施是一种以经济为主、社会为辅的社会压力管理措施。还有不采取任何的措施,因此,按遍历设计思想,表 7-2 表示所有的可选方案。

表 7-2 实验方案设计

| 方案 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| $t=11$ 以前 | 无 | E | E | 无 | E |
| 从 $t=11$ 开始 | 无 | E | 2E | E | 无 |

## 7.5.2　仿真结果、确认及分析

在 CA 仿真系统上根据上述不同的方案分别进行了各个实验，得到了一些数据，把这些数据通过 Excel 制成了一个图（图 7-11）。通过比较，非常直观地发现各个方案的优劣。

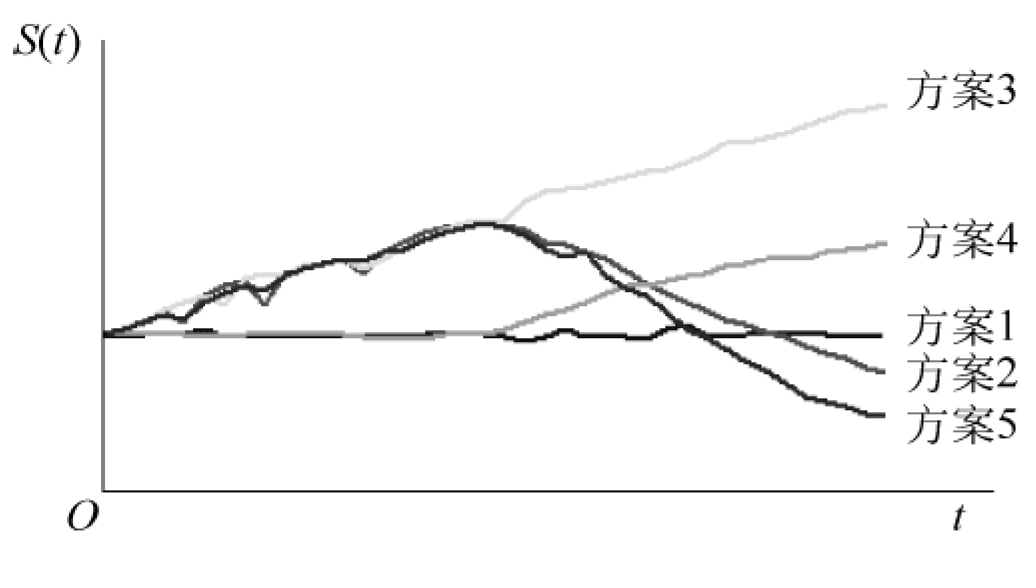
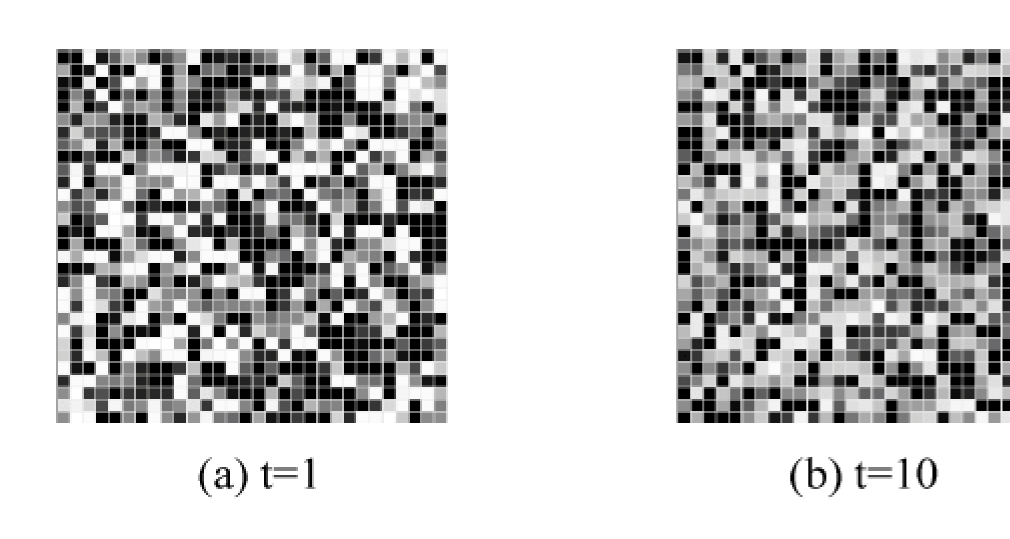



图 7-11　仿真结果比较图

图 7-12～图 7-16 是 5 种方案（方案一至方案五）在 3 个时间段（$t=1$、$t=10$、$t=20$）各自仿真结果的截图比较。



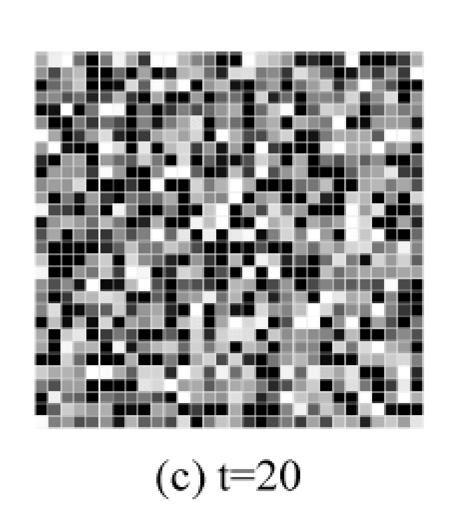




图 7-12　方案一在 3 个时间段的仿真结果

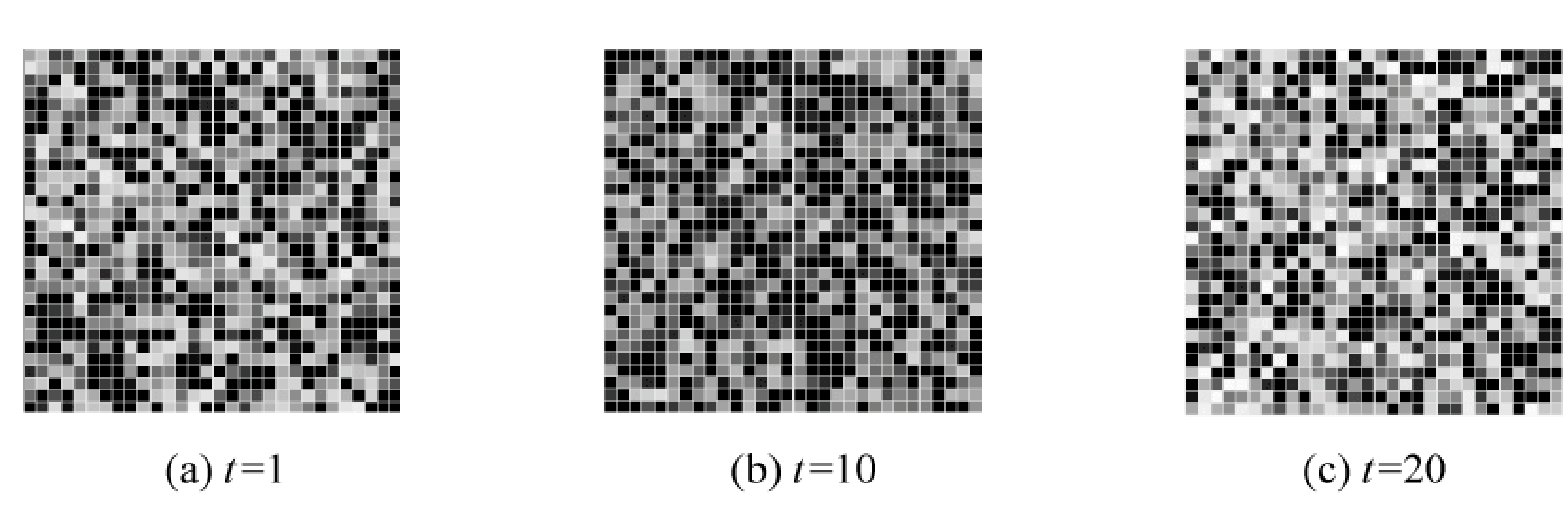
### 1. 方案一结果分析

方案一在仿真开始阶段、中期阶段以及后期阶段都没有采取任何压力管理措施。其仿真结果如图 7-12 所示。对于不成熟的高校教师群体阶段的教师和成熟的高校群体阶段的教师表现出来的综合压力管理状态都比较平淡。在排除了外部环境的作用之下的高校教师，在压力管理方面与以前的公办高校非常相似，并无特殊之处。这是因为在一个相对固定的工作环境下，绝大多数人都习惯于现在的待遇和地位，一直到有人来打破这种平衡。每个个体都会因为自身的某种原因在不同时段产生一些随机性的变化，但是作为高校总体情况下，这个变化微乎其微，总体平衡并不会被打破，这从图 7-12 中不难得出。方案一说明如果高校不采取任何压力管理措施，教师工作绩效等行为表现变化不大，平淡而随机。

### 2. 方案二结果分析

方案二在仿真的中前期阶段以及中后期阶段都采取了一般程度的经济类压力管理

措施。其仿真结果如图 7-13 所示。在有压力管理措施的情况下,其效应从压力管理原点出发向整个高校教师群体内扩散,扩散的方式是从压力管理原点向四周传播。随着原有工作平衡被打破,高校教师在组织的压力管理措施的影响下,到中期阶段,教师的工作努力程度部分地得到了显著的提高,如图 7-13(b)中可见元胞颜色明显加深。从仿真开始到中期,高校教师还是处于一个互相不熟悉的工作环境中,他们相互之间会有一定的信息失真。这种情况会随着高校教师之间的相互熟悉慢慢产生变化,高校教师之间会进行压力管理措施的公平性比较。同时,根据人的心理上的变化,人心不足蛇吞象,满足其欲望的实质奖励就必须慢慢加大。因为高校教师心理上的变化和高校教师相互间的攀比,原有的压力管理措施必将不能满足高校教师不断增加的欲望的要求,等到高校压力管理措施影响力逐渐衰减到消失,教师的工作努力程度会降低,工作绩效就会大打折扣。从图 7-13(c)中可以看到,大多数元胞颜色变浅,甚至还不如开始阶段的工作绩效。



(a) $t$=1　　(b) $t$=10　　(c) $t$=20

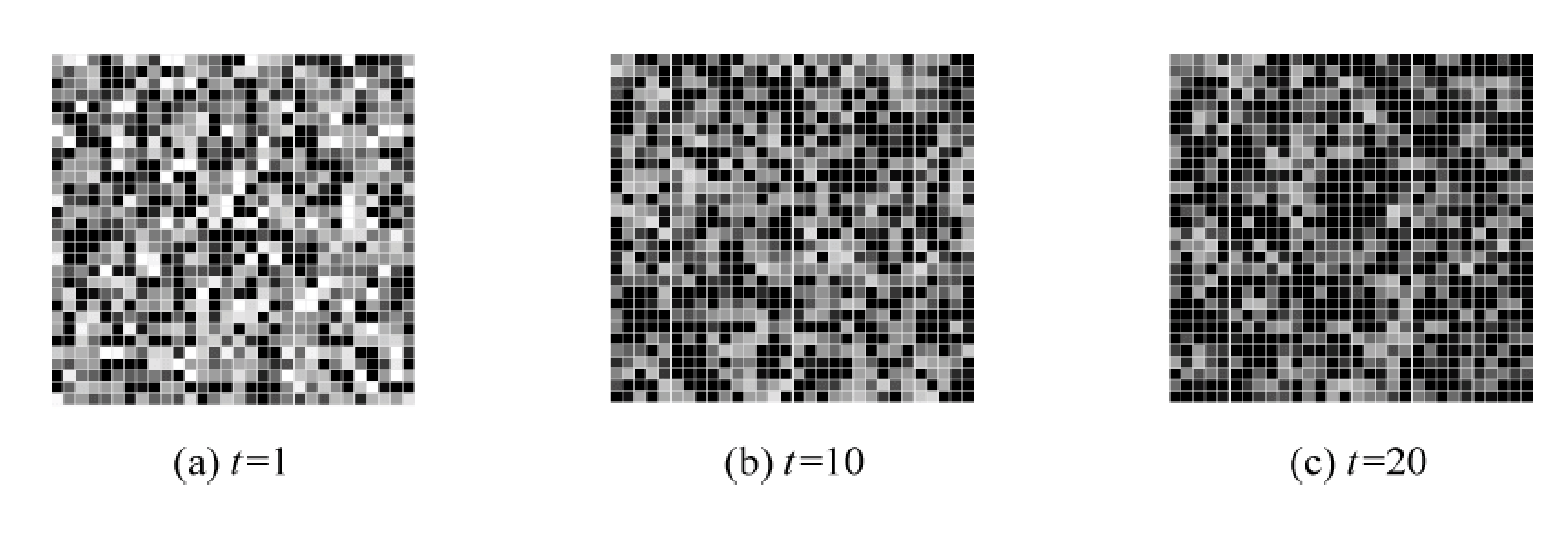
图 7-13　方案二在 3 个时间段的仿真结果

方案二的仿真结果可以跟常识相符。某个高校为提高工作绩效,大幅度地增加了教师的年终福利,开始的一两年这种效果较好,但随着时间的推移和教师相互的比较,教师会习惯这种压力管理措施,甚至相互攀比,或者跟其他单位攀比,而不是跟以前较低的年终福利比较,并且认为是自己应该得到的,可能还不能达到自己的期望。在相同经济措施激励之下,他们的工作努力程度会慢慢下降,甚至不如增加福利之前的工作状态。这个仿真结果较好地说明系统模型符合社会常识。因此,CA 模型通过定性确认。

**3. 方案三结果分析**

方案三在仿真的中前期阶段采取了一般程度的经济类压力管理措施,中后期阶段逐渐增加这种经济压力管理措施的程度。其仿真结果如图 7-14(a)～图 7-14(c)所示。从高校教师群体开始的不熟悉到高校教师群体的相互熟悉,压力管理措施产生了变化。这是方案三与方案二最大的不同,方案二是在不熟悉($t$=10 之前)与熟悉($t$=11 之后)的高校教师环境,高校压力管理措施比较平稳,没有增加幅度,都是一般的压力管理措施。方案三分两段,第一段是不熟悉的环境中的一般压力管理措施,第二段是熟悉的高校教师环境中的强力压力管理措施,压力管理措施在不同的时间段得到了明显的提升。从图 7-14(c)中可以很明显地看出来,在第三方案中,从 $t$=11 到 $t$=20 的时间段里,和不熟悉的时间段一样,高校教师的工作努力度得到了持续稳定的改善。图 7-14(c)所示的黑色

元胞明显比图 7-14(b)多,同样图 7-14(b)的黑色元胞也比图 7-14(a)的元胞多出很多。压力管理效果持续明显改善。这个仿真结果正好验证了第二个方案中从 $t=11$ 到 $t=20$ 时间段的过程中为什么高校教师的工作努力度不升反降的道理。



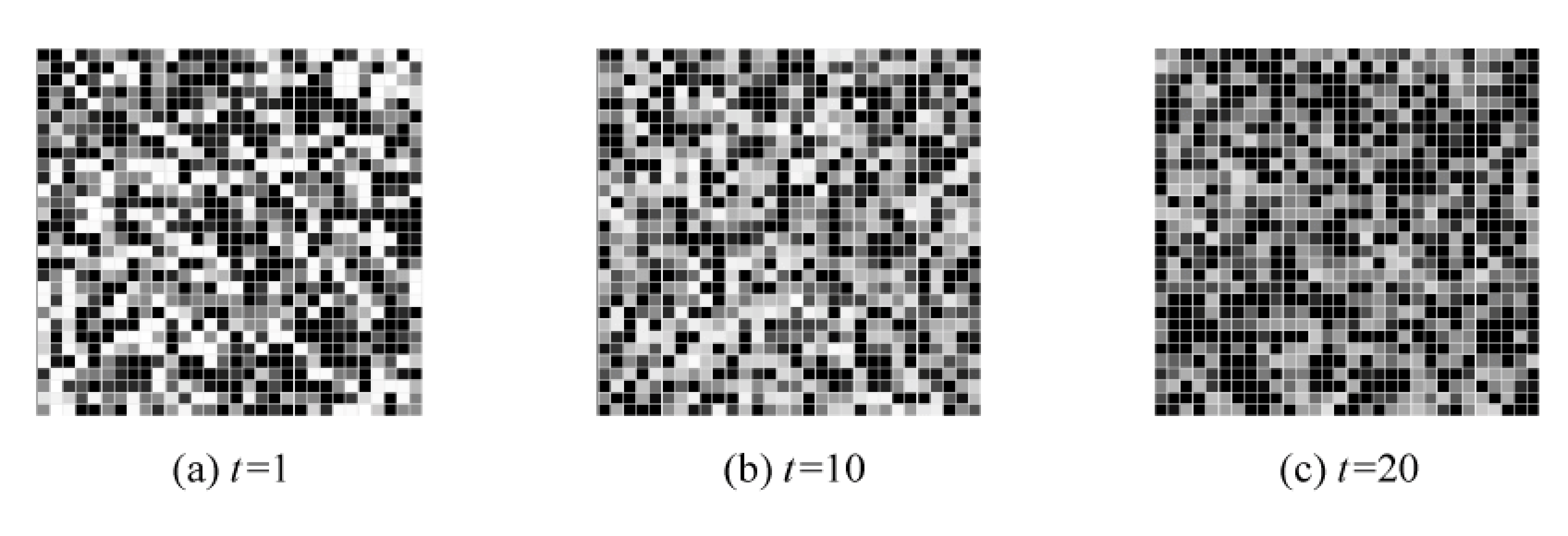
(a) $t$=1　　(b) $t$=10　　(c) $t$=20

图 7-14　方案三在 3 个时间段的仿真结果

对这一结果也可以进行定性确认。通过对某高校的实际调研,根据以往高校对教师的压力管理措施所达到的效果来分析,持续稳定增加的压力管理措施是很有必要同时也是很重要的。这个高校都是一次性给教师加福利,并且每次所增加的幅度和力度都是相当大的,刚开始效果很显著,虽然增度并没有减小,但是渐渐地压力管理带来的效果远没有原来那么明显,以至于某些教师所表现出来的积极性也产生了一些问题,后来该高校及时改变了策略,采用了分批次、小幅度增加压力管理措施(福利)的方案来解决这些问题,这种成效显而易见,大幅度地提升了该校教师的积极性。

**4. 方案四结果分析**

方案四在仿真的中前期阶段不采取任何压力管理措施,中后期阶段采取一般程度的经济压力管理措施。其仿真结果如图 7-15 所示。该方案是当高校教师不熟悉的时间阶段不采取任何的压力管理措施,一般压力管理措施是由于压力管理措施在高校教师互相熟悉而采取的。如果高校教师并不是很熟悉这个方案,那么高校措施阶段跟第一个方案所说的高校教师不熟悉的时间阶段产生的压力管理效果和传播是一样的。当这个方案的压力管理措施正好是一般压力管理措施时,那就表明正处于高校教师熟悉阶段,不过该阶段跟第二个方案的第二阶段并不是相同的。原因很简单,在不熟悉的阶段高校教师所经历的压力管理是不同的。在图 7-15(b)和图 7-15(c)中可以看到,高校教师的努力度有了很大的变化。通过对比第二方案的中高校不熟悉的时间阶段,由 $t=0$ 到 $t=10$ 变化过程中,这个方案高校教师工作努力度在 $t=11$ 到 $t=20$ 该时间段所产生的变化小很多,从相互不熟悉到相互熟悉这个阶段,高校教师也有了很大的变化,比较的程度和广度都得到了大幅度提升,这也反映了高校压力管理措施的压力管理效果。令人奇怪的是,方案四最后的工作绩效竟然超过方案二,而方案二为实施经济压力管理措施,付出比方案四更多的代价。说明从无到有的压力管理举措比一般性的经济激励效果要好。

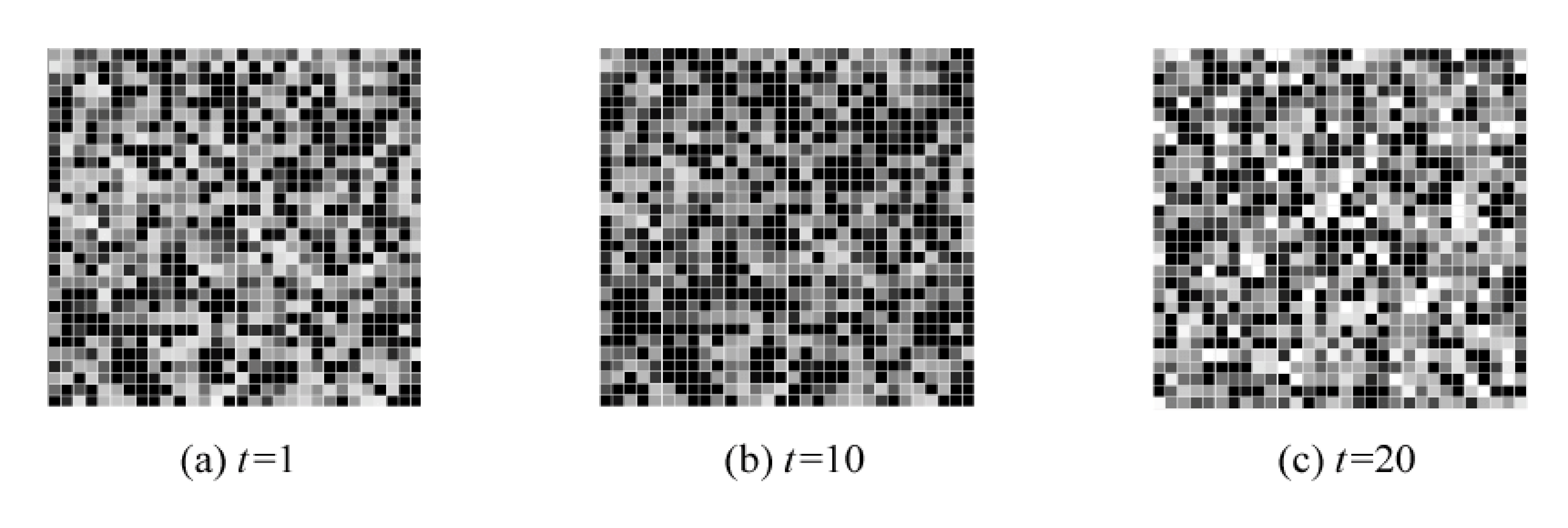


(a) $t$=1 (b) $t$=10 (c) $t$=20

图 7-15 方案四在 3 个时间段的仿真结果

5．方案五结果分析

方案五在仿真的中前期阶段采取一般程度的经济压力管理措施，中后期阶段不采取任何压力管理措施。其仿真结果如图 7-16 所示。这个方案的压力管理措施恰好跟方案四相反，当高校教师处于互相不熟悉时，压力管理措施就是一般程度的经济压力管理措施，而当高校教师处于相互熟悉时，则不实施任何压力管理措施。在高校教师不熟悉的时间阶段内，高校教师群体的压力管理效应传播和方案二在同一时间阶段的传播效果相类似。这个方案的关键问题就是高校教师群体压力管理效应需要在高校教师相互熟悉的时间阶段传播。从图 7-16(b)和图 7-16(c)中可以明显看出，从 $t=11$ 到 $t=20$ 高校教师群体的工作努力度快速减少，造成这个结果的原因就是从有到无的经济压力管理措施。有句谚语“由贫入富易，由富入贫难”正好说明这个结果。教师都希望生活蒸蒸日上，一年比一年好。但是如果经济状况比以前差，就会极大地打击教师的工作积极性，影响工作绩效。甚至比始终不增加福利待遇对教师的负面影响还大。在 5 个方案中，这个方案的工作绩效结果最差。



(a) $t$=1 (b) $t$=10 (c) $t$=20

图 7-16 方案五在 3 个时间段的仿真结果

该结果也符合社会常识，说明模型通过定性确认。一所高校如果处于发展高峰期，压力管理措施好，教师的福利高、待遇好，不用说，教师当然会努力工作，热情高涨。但是随着学校的发展如果进入了衰退期，高校的管理措施和奖惩制度也没有跟上，教师的信心和兴趣也就会自然而然地下降了，往往有能力的教师就会自谋出路，而没能力的教师也就会混日子，得过且过，工作绩效会持续降低。

## 7.6　本章小结

本章研究了高校教师工作压力对工作绩效影响的仿真问题，基于 CA 方法，选择 Visual Basic 6.0 开发仿真系统，设计多个实验方案。仿真结果分析显示，低压状态不能产生压力管理原点，整个高校教师工作绩效将不明显；从压力管理原点出发向整个高校教师群体内扩散，原有平衡一旦打破，高校工作绩效得到较大改善，但随着教师间相互了解，这种效果将衰减；多批次、小幅度的压力管理措施比一次性大幅度的压力管理提升的工作绩效要好；压力管理效果跟高校发展的生命周期有关，当高校走向衰退时，工作绩效由效果明显到逐渐丧失。

C H A P T E R 8

# 第 8 章 高校教师工作压力管理与对策研究

## 8.1 引言

本书从系统仿真视角研究了我国高校教师工作压力，将调查统计与系统仿真相结合，压力管理理论（参见第 1 章第 3 节）与中国高校教师工作压力实际相结合，达到研究目的：提升高校组织和教师个体对工作压力的认知，找到有效地解决问题的对策，尽量避免知识分子“英年早逝”的悲剧发生。其逻辑关系如图 8-1 所示。

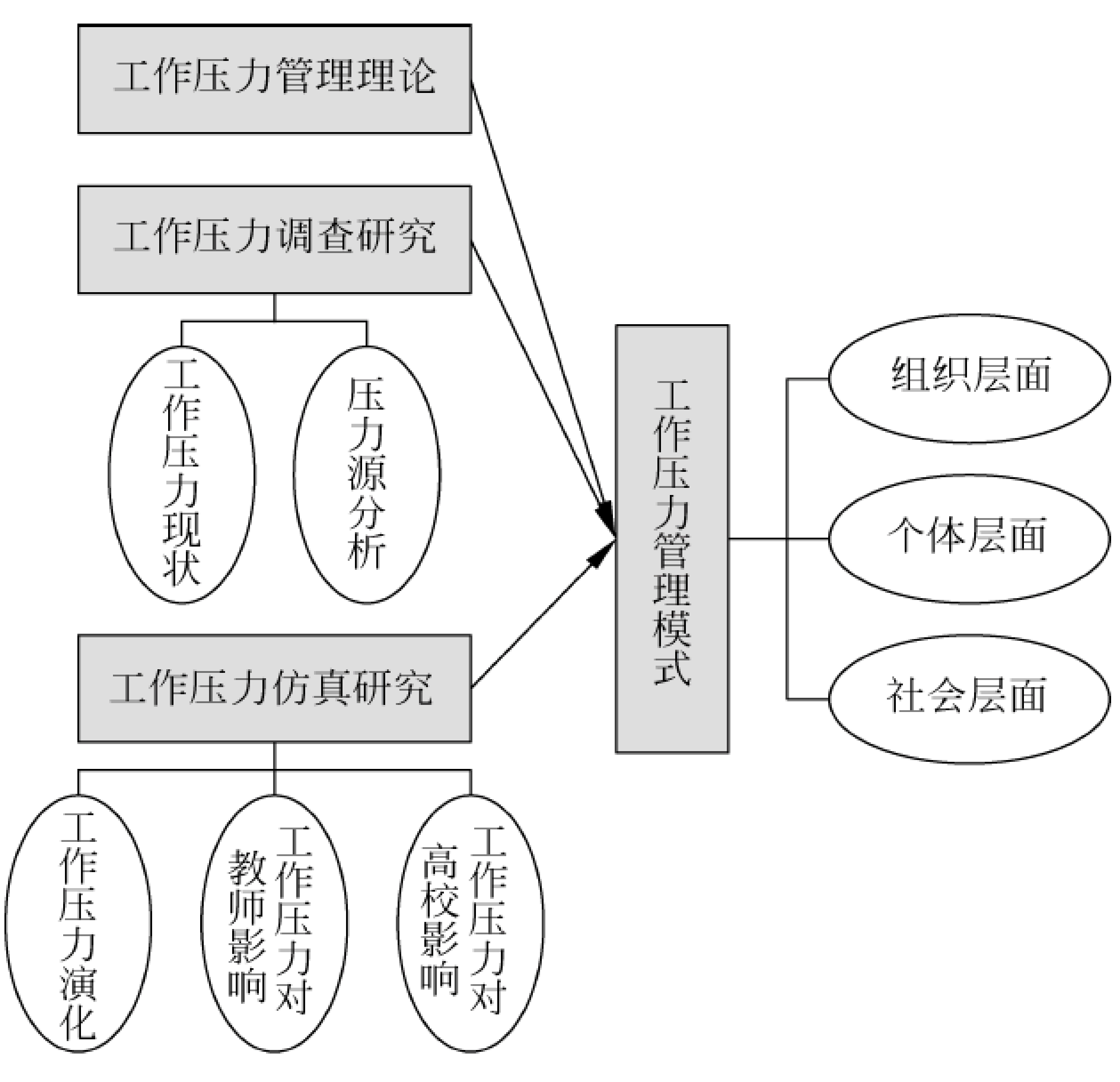



图 8-1　工作压力对策研究逻辑图

本章首先从工作压力现状、仿真结果分析和压力源分析 3 个方面入手对高校教师工作压力的问题进行了分析，然后提出中国高校教师工作压力管理模式，接着从教师个体、高校组织和社会 3 个层面论述了压力管理策略，最后对本章进行了小结。

## 8.2　关于压力管理的研究

压力管理是一门科学，以工作压力管理为主导，是组织或个体对工作压力的应对和管理，其核心是减轻个体的工作压力和心理负担所造成的不良影响。许多世界著名企业和大学，请专业人士为组织的压力管理进行指导，获得了良好的效果。更为重要的是，压力管理延长了组织的生命周期。

### 8.2.1　压力管理的内涵

**1. 压力是无处不在的**

压力像空气一样无处不在。压力的产生有二：一是个体与内外环境的不匹配，工作压力主要是个体与工作情境的不匹配；二是个体对刺激的认知和评估，带有主观性，然后做出反应。压力是一个系统过程。因此工作和生活中的压力是无法避免的。

**2. 工作压力分为积极压力和消极压力**

著名心理学家罗伯特说："压力就如一把刀，它可以为我们所用，也可以把我们割伤。那要看你握住的是刀刃还是刀柄。"压力根据作用效果分为积极压力和消极压力。汉斯·塞尔耶称积极压力或正压力为 Eustress，称消极压力或负压力为 Distress。压力管理其实就是减少消极压力，增加积极压力，使工作压力适度，个体和组织都进入良性循环的状态。

**3. 工作压力是可以管理的**

20 世纪 80 年代以后，压力管理有了更为系统和科学的方法，并得到了企业的认可，如微软、壳牌、惠普等企业实施了职业压力管理方案。这些成功的案例说明工作压力是可以管理的。组织与员工进行积极的压力管理可以在一定程度上削减源头的压力诱因问题。这一观点已经得到越来越多的国外学者的认同。

工作压力管理主要从员工个体和组织管理两个层面来实行。从员工个体层面上，主要是提高个体的压力源控制能力，并采取一定措施提高自身的生理、心理抗压能力。从组织管理层面上，着重从工作压力来源、员工压力反应以及员工的自身特点 3 个方面着手，帮助员工改变自身同时调整并减少压力来源，可使员工更好地面对压力，降低压力反应。

**4. 压力管理的目的**

压力管理的目的是学会应对压力的有效方法，而并非追求彻底消除这种压力，当然

也不能彻底消除压力，运用这些方法去分散、调节和缓解压力，从而促使教师保持一种积极乐观的心态。

**5．压力管理的重点**

在压力管理的过程中，个体的认知起核心的作用。只有当个体正确、合理地认识压力并设法解决问题时，才能调动内部和外部的一切资源，来解决问题、减轻压力，如图 8-2 所示。

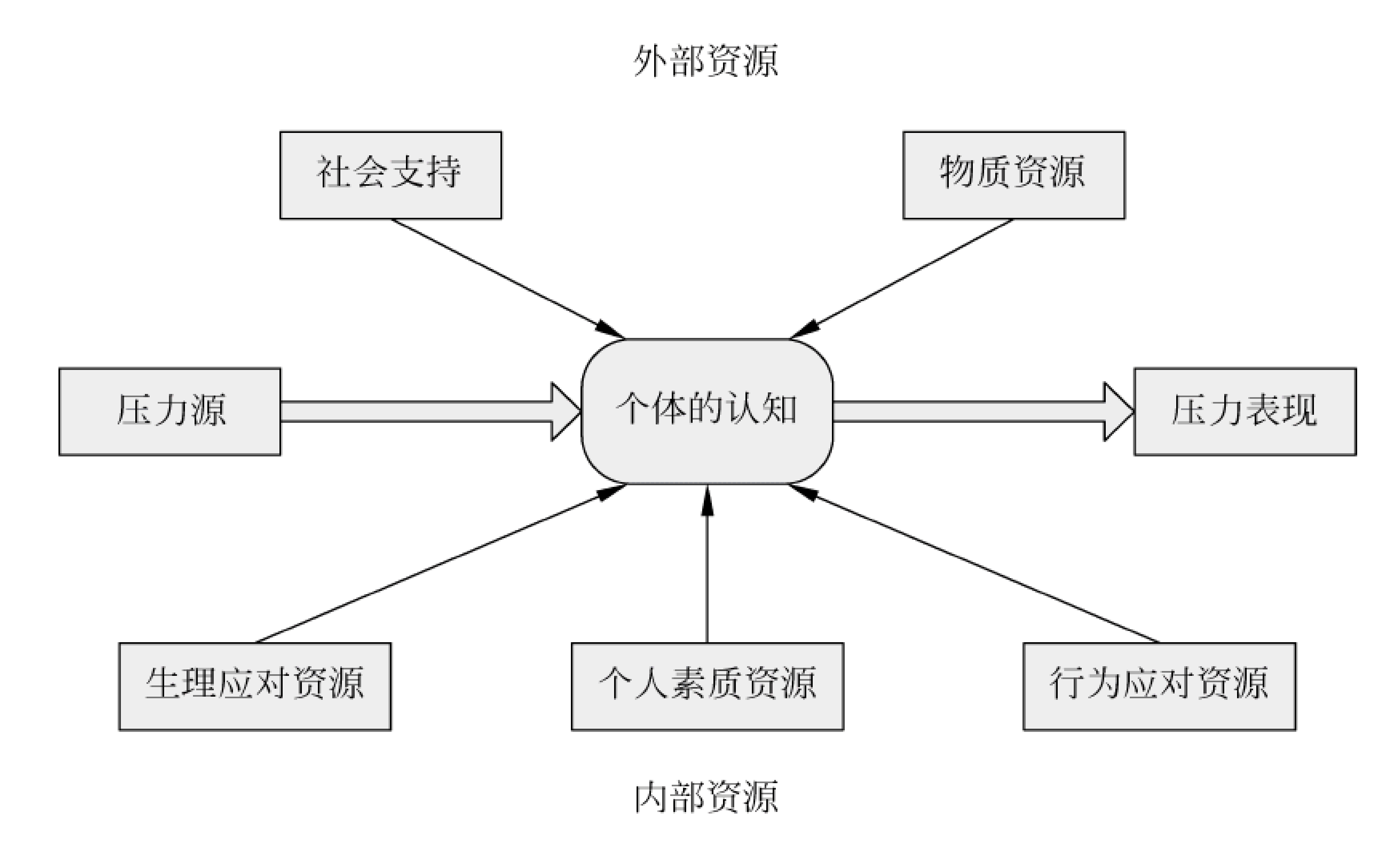



图 8-2　认知在压力管理中的作用

在压力管理中，人们只有先改变认知方式，才能去积极寻求解决问题的办法。应有的态度是面对失败的不屈性、面对厄运的刚毅性和面对困难的勇敢性。

## 8.2.2　压力管理的模型

**1．Lazarus 的交互作用模型**

1966 年 Lazarus 建立交互作用模型。Lazarus 的认知交互作用理论是一个工作压力理论，该理论的基础是认知评价的过程。在该理论中，压力源与压力反应间的认知评价过程可分为两个阶段：第一个阶段，个体要对外界事件是否具有挑战性或威胁做出评价；第二个阶段，个体会对自己所能获得的相应资源进行评价，如个人能力、社会支持等。当个体认识到获得的相应资源低不足以应对前者的威胁时，便产生了工作压力。

人的性格、环境刺激抑或一个反应并不是压力，压力是个体的需求及理性应对这些需求之间联系的产物，这是该理论的核心。压力在交互理论中被定义为是一个随着时间和当前的任务产生变化的过程。个体和环境的关系及两者的匹配程度，在工作任务、时间和活动上都是动态变化的。交互式理论如今仍被广泛接受。其交互作用模型如图 8-3 所示。

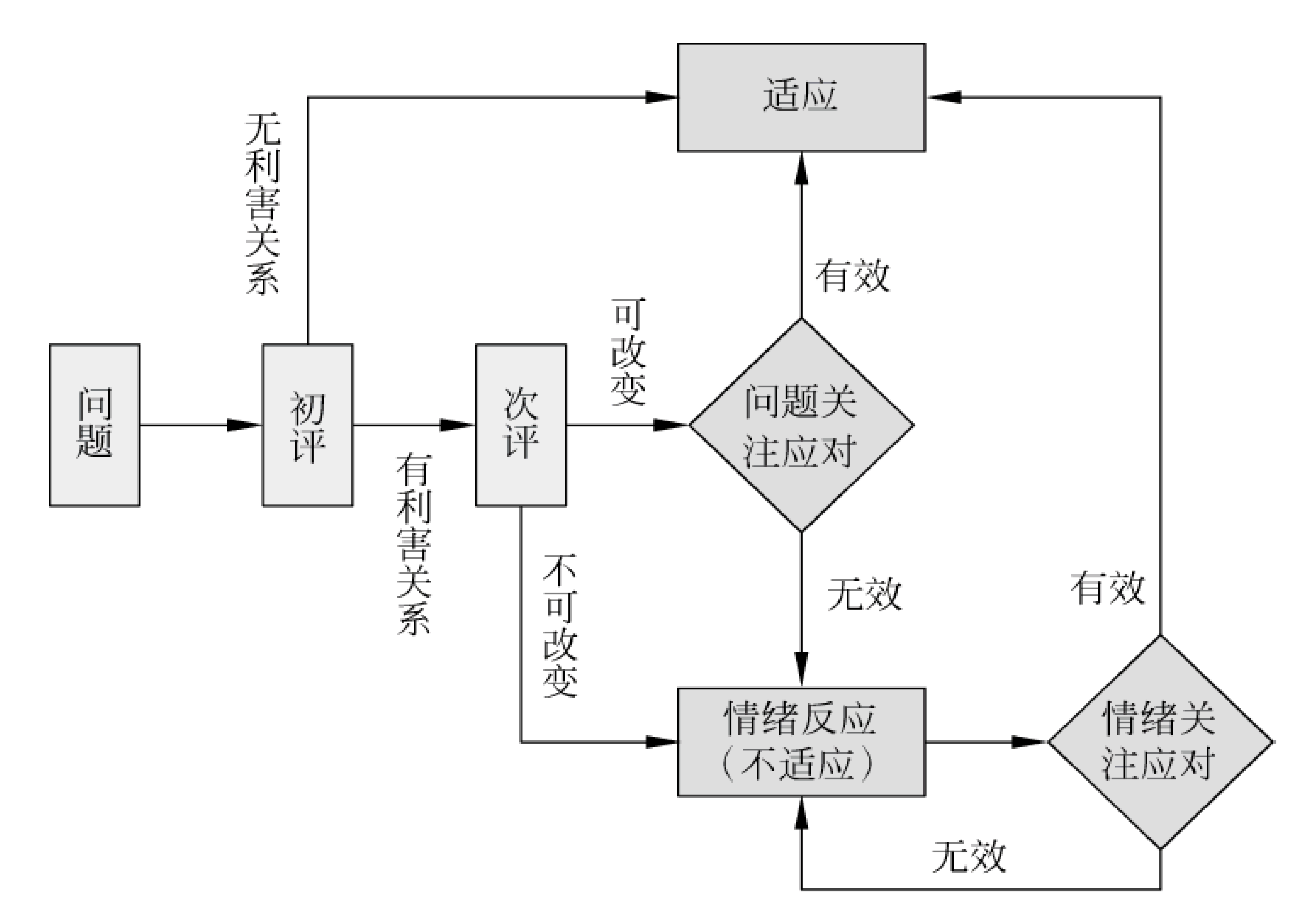



图 8-3　Lazarus 的交互作用模型

### 2. French 和 Caplan 的个体—环境匹配理论

1972 年 French、Caplan 和 van Harrison 提出著名的个体—环境匹配理论(Person-Environment Fit Theory)。这一理论目前在工作压力的研究中应用比较多，也得到了很多人的认可。该理论描述个体能力与工作要求的不匹配导致了工作压力的产生，因此认为单单把压力因素归咎于单独的环境或个人因素，都是片面的，两者应联系起来，压力因素是个人和环境联系的结果。也就是个体对工作要求不能满足的矛盾，产生的角色冲突。这个模型把环境和工作压力联系起来，建立了一个动态的互动模型。

该模型认为匹配有两种：①个体需求与环境供给的匹配；②个体能力与环境要求的匹配。相应地，个体与环境包括两种匹配：①客观匹配，独立于知觉之外的个体与环境相匹配的情形；②主观匹配，自我知觉的个体与环境知觉间的匹配情形。这使组织压力管理的应用模式有了很好的理论支持，是在组织层面考虑了压力形成的原因，是压力源的管理。

个体—环境匹配理论能更准确、更全面地揭示工作压力的成因。它促使研究者同时去考察工作环境和个体需求两个方面，而不是只单单关注环境或个体的某一方面的特点。个体-环境匹配模型如图 8-4 所示。

### 3. Williams 和 Cooper 的工作压力的动态过程模型

2002 年，Williams 和 Cooper 建立了工作压力的四元模型。“四元”包括压力源、个性特征、应对机制和压力结果。该模型演示了工作压力的动态过程。运用模型进行的仿真显示：同一种压力源可对不同个性特征和应对机制产生或积极的或消极的结果。压力结果取决于压力源、应对机制和个体特征共同的作用，缺一不可。模型如图 8-5 所示。

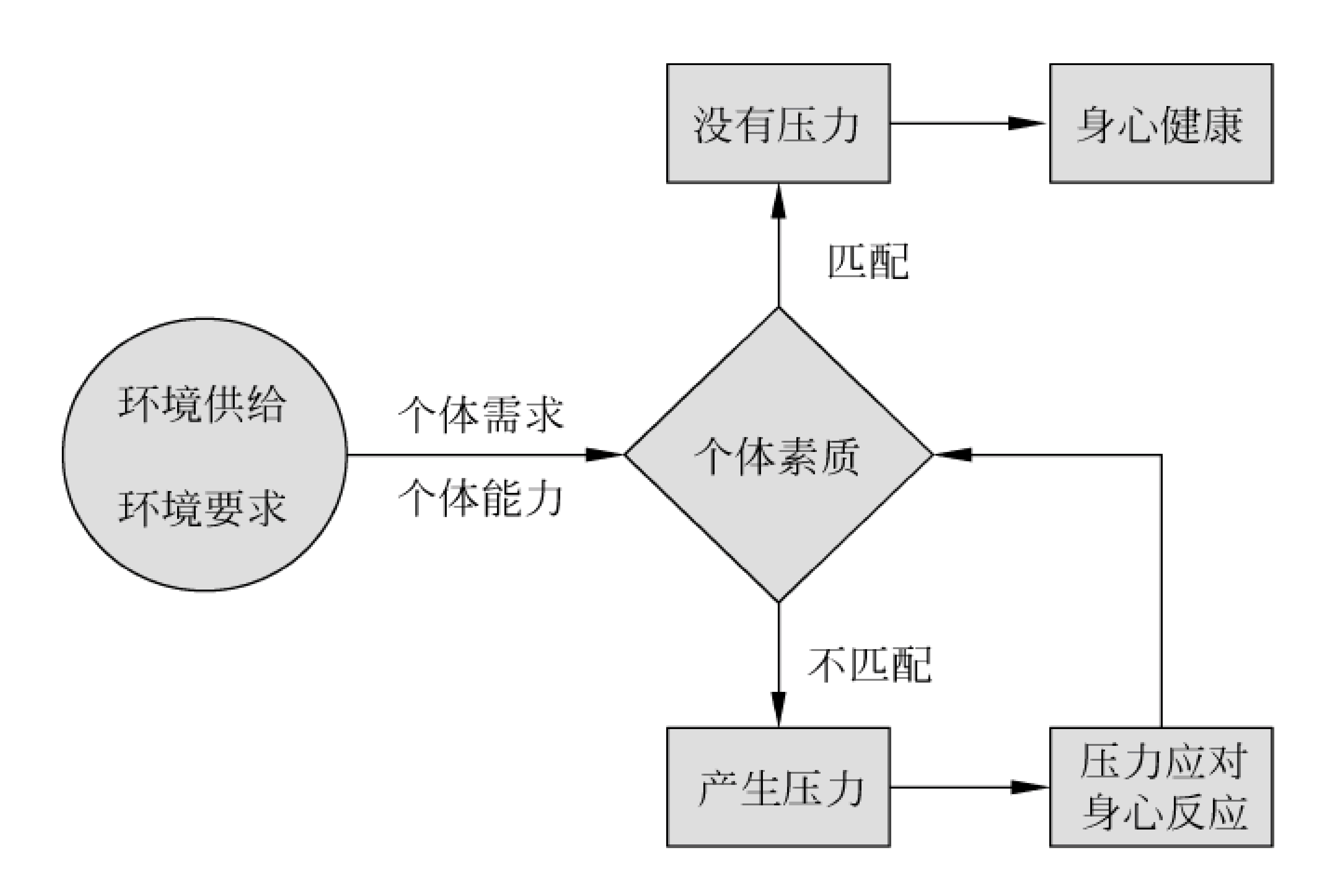



图 8-4　French 和 Caplan 的个体—环境匹配模型

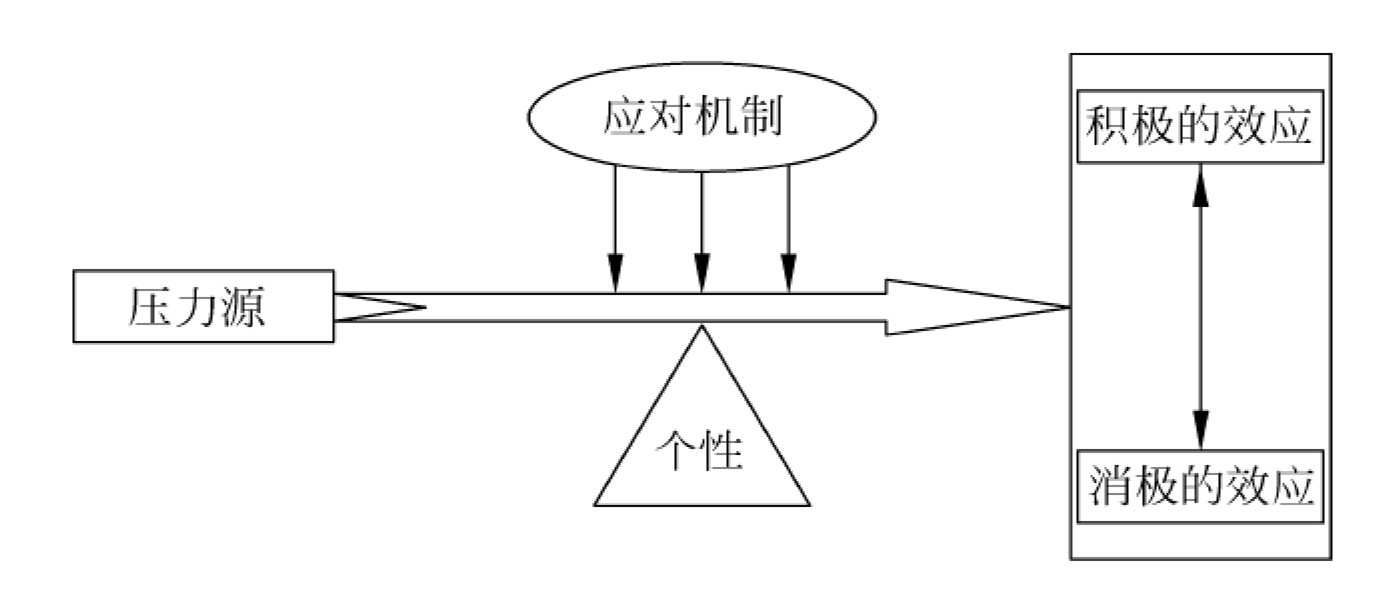



图 8-5　工作压力动态过程模型

# 8.3　高校教师工作压力管理模式

## 8.3.1　高校教师工作压力仿真结果分析

第 5 章提出了高校教师工作压力扩散模型(OSD 模型),使用基于智能体的仿真方法,运用复杂网络上的传播动力学理论,在仿真软件 AnyLogic 平台对工作压力扩散问题进行了仿真研究。仿真结果分析显示如下。

(1) 压力管理强度遵循适度原则,存在一个临界阈值。压力管理是组织或个体对工作压力的应对和管理,在工作压力普遍比较高的今天,压力管理主要是减轻个体的工作压力和心理负担所造成的不良影响,即减压管理。进行压力管理是需要成本的,适度原则说明当管理强度超过某个临界值时,效果就不明显了,甚至会缓慢降低。正好从另一个视角说明 Yerkes 和 Dodson 的工作压力与工作绩效的倒 U 形关系,即压力适度是最有利于组织和个体的。在压力管理策略上就是要组织进行科学管理、制度管理。科学管理,以合理分解压力,使压力强度适度,工作负荷适中。制度管理,以减少内耗压力,如工

作责任不明确，导致角色模糊和角色冲突，出现错位、乱位、越位。

（2）小世界网络结构有利于个体工作的积极性和组织的稳定性。小世界效应指大的聚类系数和小的平均距离，如朋友圈就是一个小世界网络。高校组织要达到小世界网络结构，要求工作环境优美，上下沟通顺畅，人际关系融洽，领导风格民主，组织文化如“爱”“家”等理念，使教师有较强的归属感和事业成就感，有较高的忠诚度。在压力管理策略上对应的是柔性管理，以有效化解压力。

（3）组织工作压力达到平衡，低压组织比高压组织具有更强的鲁棒性。综合结论（1），中压组织是最优选择。

第 6 章提出了振荡—均衡定性仿真模型（OEQS 模型），利用 QSIM 算法和 CR 方法以及 BP 神经网络算法，运用组织行为学理论，选择 Visual Basic 6.0 开发接口并图形化显示仿真结果，在定性仿真引擎的驱动下，对高校工作压力对教师群体行为的影响进行了研究。通过确认和应用，证明 OEQS 模型可以作为辅助决策工具。压力源特别是高校的改革举措，如全员聘任，竞争上岗，挂牌上课，14 级职称工资，教学上严格的质量监控，科研上对论文、项目、到账经费的高标准考核，职称晋升改革，高校合并或升级，高层领导变动等，都会打破高校工作压力的平衡，工作压力将影响到教师工作行为，发生振荡，最后达到新的均衡点。高校压力管理作为输入会影响新的均衡点的位置。仿真结果分析发现，压力管理中经济手段优于非经济手段。对应工作压力管理策略是激励管理，特别是在市场经济的大环境影响下，提高教师物质待遇是变压力为动力的好办法。

第 7 章基于元胞自动机的仿真方法，研究了高校工作压力对工作绩效的影响。选择 Visual Basic 6.0 开发仿真系统，设计多个实验方案，仿真结果分析显示，低压状态不能产生压力管理原点，整个高校教师工作绩效将不明显；从压力管理原点出发向整个高校教师群体内扩散，原有平衡一旦打破，高校工作绩效得到较大改善，但随着教师间相互了解，这种效果将衰减；多批次、小幅度的压力管理措施比一次性大幅度的压力管理提升的工作绩效要好；压力管理效果跟高校发展的生命周期有关，当高校走向衰退时，工作绩效由效果明显到逐渐丧失。压力管理有助于延长高校的生命周期，当高校达到鼎盛阶段，在压力管理下其工作绩效是非常明显的，但激励措施应保持在多批次、小幅度，避免大的动荡，影响工作绩效。有的高校进入招生困难阶段，要研究其生命周期，以进入新的周期循环。

### 8.3.2　高校教师工作压力管理模式

在第 4 章我们已经就压力、工作压力和教师工作压力概念、工作压力要素、工作压力模型等问题进行了综述。由于研究者从不同的学科领域，如医学、心理学、管理学、社会学、教育学等，使用不同的研究方法，研究目的也不尽相同，产生了许多理论流派。有研究压力产生的内在机制的工作压力模型理论，有研究压力源的工作压力源理论，有研究压力效果的工作压力—工作满意度—工作绩效理论，有研究压力应对的压力管理理论

等。这些理论侧重点不同,互有交叉,一脉相承,也有的相互冲突。

### 1. 教师压力管理模式

参考国内外压力管理的原理和姚立新编撰的《教师压力管理》中提出的教师压力管理模式,如图 8-6 所示。

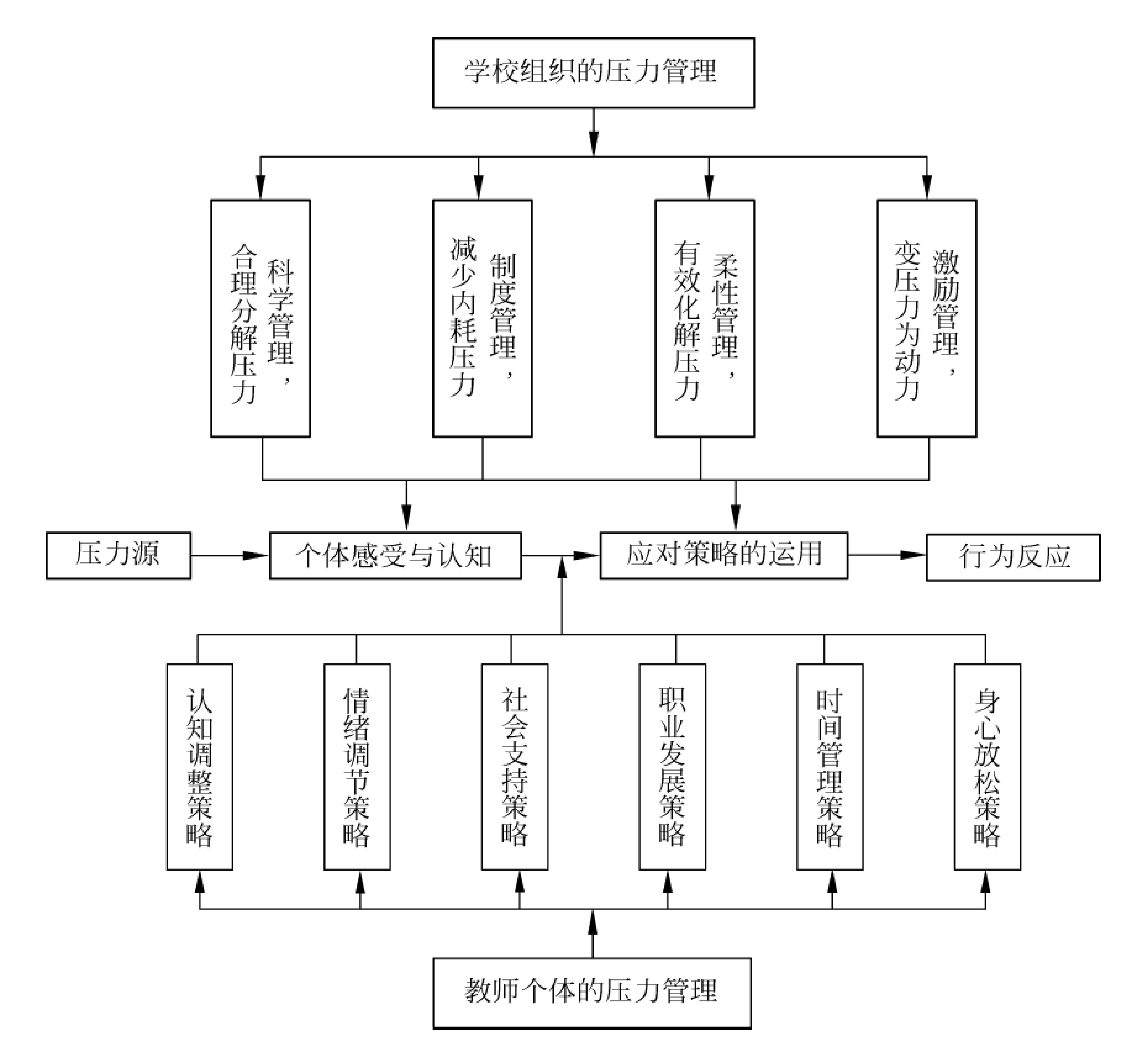



图 8-6　教师压力管理模式

### 2. 压力管理方法分类

(1) 按管理主体分为组织策略和个体策略。

(2) 按管理客体分为压力诱因导向的策略、压力反应导向的策略和症状导向的策略。

每种策略包括了许多选项,其中有得到实践检验证明是有效的工作压力管理方法,有的属于经验性管理策略,还需要实践的进一步检验。

### 3. 教师压力管理运作

高校教师压力管理可以在组织部下设一个小组来领导完成。其运作程序如下。

(1) 压力管理准备。包括:进行压力管理动员,宣讲其重要性;聘请专家进行演讲,介绍压力管理的成功案例;培训压力管理骨干;收集相关数据,如教师事故率、请假

率等。

（2）压力管理实施。①教师工作压力测量，如测量压力现状数据、压力源数据、压力的生理反应数据、压力的心理反应数据、压力的组织行为反应数据等；②结果反馈及压力管理实施方案设计；③教师压力管理实施。

（3）压力管理评估。进行压力管理前后对比，如教师的工作满意度、工作倦怠、教学事故、身心状况等；高校的教风、教学质量、凝聚力、就业率、工作环境等。如果压力管理效果不明显或恶化，还需要检查高校的深层次问题。

# 8.4　多视角高校教师个体的工作压力管理

## 8.4.1　基于个体视角

### 1. 认知调整策略

认知是影响个体心理健康水平的重要因素，这是压力管理的重点，即态度决定一切。“生活就像一面镜子，你对它哭，它也对你哭；你对它笑，它也对你笑。”这是对人与生活、主观与客观、心理与现实的辩证关系的生动而又深刻的描述。认知调整策略包括重新认识环境，还包括对自己压力源的认识和态度并做出心理调整，如学会避免某些自挫性的认知；还包括公正的自我评价，教师只有肯定自己的成绩，正确看待自己的不足，才能保持正常的心态。

在认识压力时要注意两点：①运用积极认知，避免认知绝对化；②形成合理的自我认知，保持适中的期望值。运用积极认知，改变认知是一种非常重要的调节策略，认知评估是情境与情绪之间重要的中介变量。任何事情都有两面性，积极的认知就是在看到事物不利方面的同时，更能看到有利的方面，这种看待问题的方式，容易使人增强信心、情绪饱满，学会把压力变动力。有些教师在看待问题时容易“想不开”，情绪也陷入低落。如果换一种看问题的角度，会使自己有完全不同的感受。

### 2. 情绪调节策略

我们遇到的问题分为两类，即实际问题和情绪问题。实际问题是面对他人与外部世界时所遇到的困难和冲突，如科研工作上不去、与同事关系处理不好等。情绪问题是有关实际问题的不愉快的感受和情绪烦恼，包括焦虑、愤怒、恐惧、妒忌等。必须先解决针对实际问题所产生的情绪困扰，然后再解决实际问题，这样的压力管理顺序才会产生效果。调节情绪可以管理个体，改变自己和他人的情绪。在进行调节的过程中，通过一定的方法，可以使人们在日常生活、工作、学习时的行为表现等方面都达到良好的、容易控制的状态，从而提高工作效率，更好地完成任务。教师和我们一样是平常人，也会有情绪的变化，有喜怒哀乐。但是教师为人师表，不能控制好自己的情绪，对人对己都是无益的。教师应该能随时控制并调节好自己的情绪，并保持积极乐观自省的生活态度。所

以，大学教师在教书育人提高道德文化素质的同时，还应掌握调节情绪的方法。

（1）意识调节法。人的意识不仅可以磨炼出坚强的意志，还可以很好地控制情绪，并进行适当的调节，因此可以通过个人的意识来控制和调节情绪的变化。

（2）合理释放。当人产生了消极情绪时，可以通过释放来缓解。例如，在没人空旷的地方大叫几声；找自己的亲人知心朋友倾诉心中的烦劳，让他们给自己一些鼓励；听一些愉快轻松的音乐平息心中愤怒；大哭一场，发泄心中不平。通过这些方法可以减轻心理压力，将心中的消极情绪发泄出来，避免许多因为情绪不良而产生的错误。

（3）注意转移法。当情绪处于激动状态时，将自己的注意力转移到其他的地方，让它不立即爆发出来，从而使自己有更多的时间来控制并调节。例如，可以通过转移话题或做其他的事情来分散注意力。也可以做一些自己喜欢的，轻松愉快的事情，如玩游戏、看电影、下棋、上网、旅游等来让情绪放松，减轻心理压力。

（4）行为转移法。当消极的情绪已经发生时，可以通过改变行为来调节情绪，如参加有意义的社会活动，开始新的工作安排等来转移负面情绪。通过这些方法可以缓解压力，发泄情绪，转移注意力，经常使用这些方法可以提高对情绪的调节能力。

**3. 社会支持策略**

从 JDCS 模型可以看出社会支持（Social Support）对压力管理的重要性。社会支持是来自他人的一般性或特定的支持性行为，这种行为可以减轻心理压力反应、缓解精神紧张状态、提高个体的社会适应性，使个体免受不利环境的伤害。

社会支持的种类有 5 种，即物质性支持、情绪性支持、尊重性支持、信息性支持、同伴性支持。中国的教育是受到社会广泛关注和严格监督的，对于教师来说也需要获得社会的更大支持，包括高校组织的支持、领导的支持、同事的支持、团队的支持、家长的支持和学生的支持等，已有大量研究和事例表明，良好的人际关系能建立有效应对工作压力的社会支持系统。

条件成熟时，还可以推行 EAP（Employee Assistance Program，员工帮助计划）。EAP 是由组织（如政府、企业、学校、军队等）为其成员设置的一项系统的、长期的援助和福利计划，它通过专业人员对组织的诊断、建议和对组织成员及其家属的专业指导、培训和咨询，帮助解决组织成员及其家属的一些心理和行为问题，以维护组织成员的心理健康，提高其工作绩效，并改善组织的管理和形象，包括职业压力和心理健康问题评估、职业心理健康宣传教育、工作环境再设计与改善、员工和管理者培训及其心理咨询等多方面的内容。

**4. 职业发展策略**

职业生涯规划是压力管理的重要手段，其职业生涯发展压力如图 8-7 所示。

不同的职业周期有不同的规划策略。

（1）20～30 岁是职业前期，其目标以积累为主。

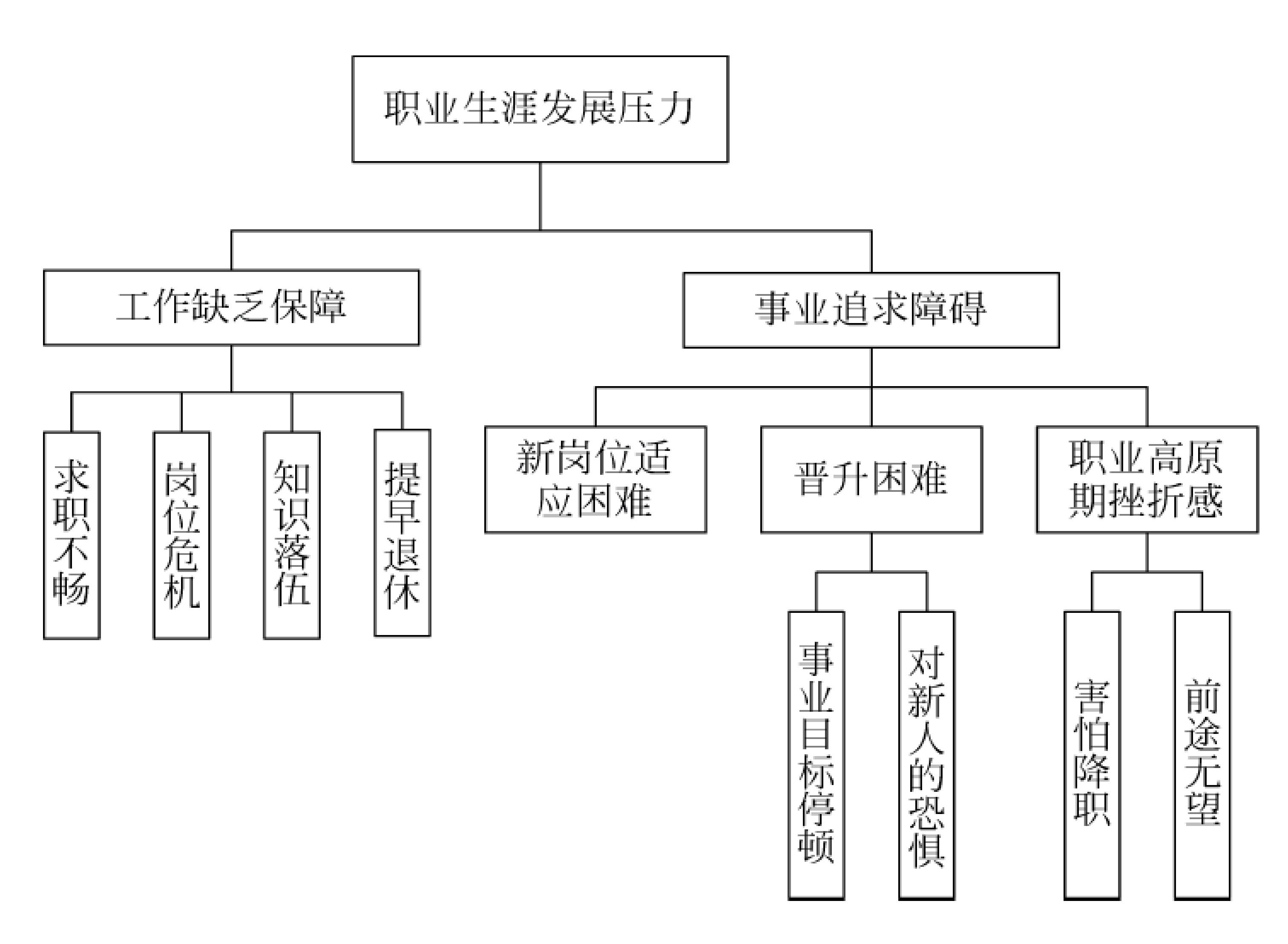



图 8-7　职业生涯发展压力

(2) 30～40 岁是立业期,其目标是增长专业技能、知识,并在某个领域形成个人优势,找到自己的发展方向,优化职业生涯规划,建立自己的支持网络,树立良好的形象,提升职务级别,获得更多的收入,处理好工作与家庭的冲突。

(3) 40～55 岁职业成熟期,这是收获期,产生业绩,技术需要不断更新,要有广阔的视野,可以开发新的工作兴趣,跨行业进行学习,尝试多元化的发展。

(4) 55 岁之后是职业后期,应该以了解新信息、确认和培训继承人、计划退休为主,需要乐观和超脱的心态应对退休带来的失落感。

高校要加强对青年教师的培养:如创建宽松、和谐、民主的校园文化环境和优良的教学、科研环境;鼓励青年教师参与竞争,提高教学实施能力;发挥名师"传、帮、带"作用;强化教师进修机制;鼓励青年教师"自我充电"。

帮助教师发展职业生涯的 5P 原则:Person(个人)、Perspective(看法)、Place(位置)、Possibility(可能)、Plan(计划),即了解自己和他人对自己的看法,确定自己的位置和可能发展,包括垂直移动、水平移动和不移动 3 种,制订计划以实现。

**5. 时间管理策略**

在高校教师工作压力原因分析中,工作任务繁杂琐碎,持续时间长,导致教师疲于应付。因此,时间管理是教师进行压力管理的重要策略。善于时间管理可有效地减轻由于工作强度与持续时间带来的工作压力。

(1) 工作要有效计划和安排时间。分为"5 个战略时间",即日末、周末、月末、学期末和年末,总结本时间段的重大事件,拟定下个时间段的目标和计划。这就是"时间分配"。

(2) 根据压力事件的重要性和紧迫性排序。把工作分为 A、B、C、D 这 4 个等级,即

代表“必办”“重要”“应办”“待办”，这对统筹安排工作很有必要，如图 8-8 所示。




图 8-8　压力事件的重要性和紧急性

（3）提高做事的效率。时间管理的创始人塔克曾经说过：“做正确的事情比把事情做正确更重要。”目标是经常在变动的，为了防止做不正确的事情，重新评估目标，找出工作的重点和定位非常重要。

（4）学会积零成整。把工作分解为若干部分，化整为零，利用零星时间，可取得大的收获。

**6. 身心放松策略**

在放松身心的同时，还要注意形成健康的生活方式，要做到以下几点。

（1）保证充足的睡眠。睡眠充足，人就会轻松愉快地投入到学习和生活中去，充分发挥脑的功能。还应遵循体内的生物节律和一定的作息规律，使大脑保持良好的工作状态。如在休息之前停止一些令人兴奋的活动或者工作。闭目养神，读读消遣小说，听听音乐或看看电视，喝一杯热牛奶等都有助于改善睡眠。

（2）尝试新的爱好。丰富多彩的业余生活，可以分散教师的注意力，减轻压力。但要记住，爱好只是一种乐趣而非日常工作，你只管投入其中，而不要在乎做得好坏；否则，又会产生新的压力。

（3）配合科学、合理的饮食。身体在压力之下消耗的能量比平时快，所以，健康的饮食非常重要。教师要养成良好的饮食习惯，要注意一日三餐的定时定量及热量和营养素的科学分配，注意合理搭配食物及膳食的平衡。如尽量多吃新鲜水果和蔬菜，尽量多吃纤维食物等，以保证各种营养素的供应。

（4）积极进行体育锻炼。体育锻炼有助于释放体内能量，有助于头脑转向其他事情从而忘掉使身体积聚的失意和压抑。有规模地进行散步、慢跑、游泳及其他一些有益的活动，可以消除学习及工作在体内积累起来的压力和紧张。经常参加运动还使人有良好的睡眠，工作效率高，精神焕发，能够有效地降低焦虑和抑郁感。体育锻炼的方式多种多样，如骑自行车、打球、游泳、快走、慢跑、爬山、太极拳、散步等，教师可以根据自己的特长、喜好和条件，选择适合自己的、比较轻松的运动。运动是最好的放松。

## 8.4.2　基于组织视角

**1. 科学管理，合理分解压力**

压力管理的主要目的是为工作者营造一个能充分发挥所长的工作环境，避免高校系统中压力不均衡。如某一部分教师承担力不从心的、难以胜任的过度的工作负荷，从而导致紧张症状；另一些人员整天无所事事，出现无聊、烦闷、自信心下降等不良情绪。因此，依据高校系统内工作压力结构系统的实际情况，科学地调整工作压力系统中的

压力分配，是做好压力管理工作的最为有效的一个途径。权力集中，是高校中一个潜在的压力源。高校中的许多工作压力与权力过度集中有密切的关系。过度的集权使中层和一般教师对工作缺乏必要的权力和控制性，较容易引起管理者与教师的认知冲突。而且，权力的过分集中，在无形之中加重了管理层的工作负担，导致工作负荷的产生。合理分权授权，加强参与管理，是调整高校中压力结构失衡与压力分配不均的有效措施。

**2. 制度管理，减少内耗压力**

加强制度建设，如吸引优秀青年教师来校工作优惠政策、毕业生来校工作合同制度、青年教师考研考博等规定、青年教师的培养制度和途径、教职员工的岗位职责、教学管理制度、实验室管理制度等，使教师任务明确，角色清晰，减少因任务模糊、角色冲突产生的压力。

**3. 柔性管理，有效化解压力**

刚性管理是严格按照规章制度，并利用高校结构、责权分配来实现由支配到服从的管理。刚性管理重制度忽视人的情绪和需要，重外力强制忽视人的自觉性、能动性，重执行忽视沟通。柔性管理是相对于刚性管理而言的，它是指在研究人们心理和行为规律的基础上采用非强制方法，在人们心目中产生一种潜在的说服力，从而把高校意志变为人们自觉行为的一种“以人为中心”的管理。柔性管理就是以人为本，以教师为本，关注教师的思想、情感和需要，发挥教师的积极性、创造性和主动性去应对现实存在的各种问题，有效化解教师的工作压力的管理方法。

**4. 激励管理，变压力为动力**

压力管理不仅仅是为了改进教师的工作和生活质量，同时也是为了更好地提高学校工作的效率和活力。很多时候在高校内部增加适当的压力，将会增强高校活力，而不是使之运转失常。许多研究发现，绝大多数教师在自我反映较高压力的同时，压力也对自己的工作产生了正向的积极的影响。所以，通过有效的压力管理措施，在高校中形成合理的压力氛围，能够促使教师保持高昂的工作士气、饱满的工作情绪、积极的工作态度，全身心地投入到工作中去。具体来说，高校压力管理中的激励策略有目标激励策略、进修激励策略、榜样激励策略、宽容激励策略和成果激励策略。重视高校教师的心理需求，调动他们的积极性，以维护教师的心理健康。如采取目标激励，组织教师参与管理，逐步形成心理认同；采取关怀激励，尊重教师心理需求，力求达到心理相容；创设条件激励，了解教师心理变化，努力求得心理平衡等。学校领导者要重视教师的工作乐趣感，并使之转化为工作责任感。对待教师，重点在内在性激励，使他们从工作成就中获得满足。但外在激励能具体地对行为的变化做出干预，因此也要适当地采用外在性激励，即将内在性激励与外在性激励结合起来。

# 8.5 社会层面对缓解高校教师工作压力的策略

## 8.5.1 发动社会、媒体关注教师工作压力问题

高校、社会及媒体需要营造有利于教师心理健康的大环境来提高教师的心理素质，减轻教师因社会期望值过高而产生的心理压力，而不仅仅关心大学生的心理障碍。随着当今社会科学技术的飞速发展，高等教育也面临着许多挑战。由于事业的艰辛和生活节奏的加快，处于改革和转型期的高校教师也有了各种各样的心理压力，且这些心理问题日显突出。社会各界不仅要重视教师的业务能力和专业水平的提高，同时还要重视对教师进行心理健康教育知识的普及。所以社会需要为教师创造更多的业务提高机会，需要健全管理制度、完善考核制度以及建立合理的分配方式来减少产生教师心理问题的外因。同时，还必须成立教师心理咨询机构来为其提供及时的心理咨询和心理疏导服务；必须开展心理压力原因的个别技术指导来引导教师查找造成心理压力的源头，让教师学会自我疏导，消除消极的情绪，同时也要求教师培养良好的品德个性，保持积极的心境，建立良好的师生关系，从而不断提高教师的心理承受能力和健康水平。

## 8.5.2 营造尊师重教的良好社会氛围

纵观我国数千年历史，“尊师重教”一直是推动中华民族发展的亘古不变的优良传统，然而教师的地位却不是一成不变的。从春秋战国时期到近代，再到中国特色的社会主义的现代，一再证明“尊师重教”的重要性。例如，诸子百家时期的荀子说过：“国将兴，必贵师而重傅”，当一个朝代兴盛之时，就会重视知识和人才，重视教师。清朝末年大兴文字狱，统治阶层掌握知识的学习权，老百姓接受的是“愚民”政策，导致国力衰弱，丧权辱国。当前改革开放，教师的地位有了长足的进步，特别是实行“教育兴国”战略，实现中华民族的复兴，“尊师重教”已经演变成了我国的一项基本国策。当今社会，每个人的头脑中都必须有“尊师重教”的观念，必须确保教师的社会地位。无疑，这种良性循环增强了教师的强烈的、明确的角色意识，这样就与教师在社会中的角色相适应，此时在教学上教师就会拥有无穷尽的动力，以使教学质量得到提升。所以为了得到好的教学，首先必须维护高校老师的心理健康，这就要求全社会为之努力：全社会要尽可能多地为教师办事，实事办实，好事办好，以解决其工作与生活中的各种困难，从而减轻教师过重的工作与心理负荷；全社会要尊重教师的劳动并形成共识，且要认识到高等教育和高等教师的特殊性；同时各级领导也要与教师交朋友，并主动听取他们的意见和建议，吸收其参与社会发展的民主决策和对重大问题的咨询论证，以确保其生活在尊重知识和人才且尊师重教的环境中。此外，政府也必须加大执法力度来维护教师的合法权益。政府必须建立一整套的教师筛选、培训和资格认定等标准来促进教师群体职业化。同时，可以运用

媒体宣传和社会舆论来促进尊师重教社会风气的形成，以达到提高教师工作积极性并增强其社会自豪感和减少其消极情绪与心理压力的目的。

## 8.6　本章小结

本章综述了工作压力管理理论，第 4 章高校教师工作压力调查，包括工作压力现状和压力源分析，第 5～7 章分别应用基于智能体仿真、定性仿真和元胞自动机仿真对高校教师工作压力的扩散问题，工作压力对教师的影响问题，工作压力对高校的影响问题进行了研究，根据其仿真结果分析，提出了高校教师工作压力管理模式，并对压力管理分类和运作做了简简介绍，最后分别从高校教师个体、高校组织和社会 3 个层面说明了压力管理策略。个体层面的压力管理策略有认知调整策略、情绪调节策略、社会支持策略、职业发展策略、时间管理策略和身心放松策略，其中社会支持策略本来应放在社会层面，鉴于我国高校目前的现实，在相当长一段时间内，只有靠个体去努力创造，所以将社会支持放在个体层面。组织层面的压力管理策略有：科学管理，合理分解压力；制度管理，减少内耗压力；柔性管理，有效化解压力；激励管理，变压力为动力。社会层面的压力管理策略有：发动社会、媒体关注教师工作压力问题，营造尊师重教的良好社会氛围。3 个层面的对策中，以教师个体的工作压力应对为主。

CHAPTER 9

# 第9章 复杂网络上的A(H1N1)型流感传播模型研究

## 9.1 引言

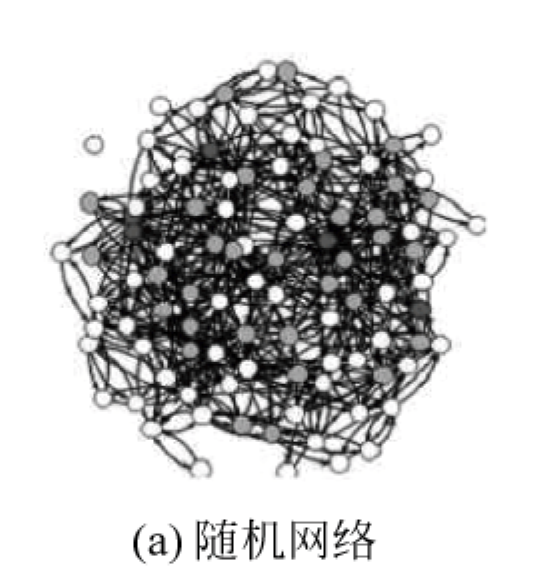
2009年4月,首例A(H1N1)型流感病毒被分别从墨西哥和美国的病人体内分离出来。随着疫情的蔓延,世界卫生组织(WHO)于6月11日宣布将流感警戒级别提升至最高级别6级,即进入流感大流行阶段。截至2009年12月22日,我国累计报告确诊病例超过12.3万例,死亡714例。据WHO统计,截至2010年6月6日,共有超过214个国家和地区向WHO报告了经实验室确诊的A(H1N1)型流感病例,至少18156人死亡。由于世界各国不再严格对轻症病例进行统计,所以全球的实际病例数已经远远超过目前的数字,仅美国预测其病例总数可能超过了数百万人。该病毒我国命名为甲型H1N1流感病毒(Influenza A(H1N1)Virus,简称甲流)。据人群流行病学数据表明,该病毒无论是传播力还是病死率同季节性流感病毒类似或略高,传播力要远高于H5N1禽流感病毒,但其致病性要远低于H5N1禽流感病毒。各种不同模型推测的数据有所不同,但总体而言本次流感流行是一次比较温和的流感大流行,同季节性流感类似。甲流传播规律的研究,对发展、完善复杂网络上的传播动力学理论,提高应对类似甲流的未知、突发的世界公共卫生危机的能力,具有非常重大的意义。

## 9.2 复杂网络的经典传播模型

复杂网络就是具有复杂拓扑结构和动力行为的大规模网络,是从拓扑学的角度对自然界的大量复杂系统的一种很好的描述方式。将真实系统

中的个体抽象为节点(Node 或 Vertex),通过边(Edge)来表示个体间的相互联系,网络则是由这些节点和连接这些节点的边所组成的图(Graph)。复杂网络是一种描述自然科学、社会和工程技术中相互关联的模型,涉及多个学科领域,如复杂性科学、非线性科学、系统科学、计算机科学、控制理论、理论物理、数学、生物学等领域。

图 9-1 表示的是复杂网络的 3 个基本类型,即随机网络(Random Networks)、小世界网络(Small World Networks)和无标度网络(Scale Free Networks)。大量的实证研究表明,现实世界中的复杂网络常常既有小世界效应又有无标度特性。


(a) 随机网络


(b) 小世界网络

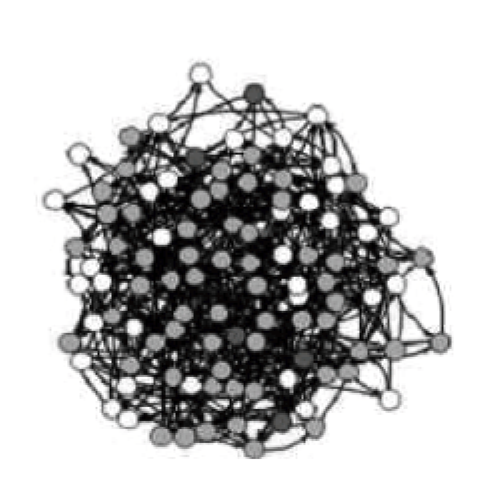

(c) 无标度网络

图 9-1　复杂网络基本类型

复杂网络的特征度量有度分布(Degree Distribution )、聚类系数(Clustering Coefficient )和平均路径长度(Average Path Length,APL)。

复杂网络中应用最广泛的经典传染病模型是 SIS 模型和 SIR 模型。

### 1. SIS(Susceptible-Infected-Susceptible)模型

SIS 模型存在两种状态,即易感状态(S)和感染状态(I)。染病人群为传染的源头,他通过一定的概率 $\lambda$ 把传染病传给易感人群,自己也有一定的概率 $\mu$ 被治愈;易感人群一旦被感染,成为新的传染源,治愈后可以被重复感染。其感染机制如图 9-2 所示。

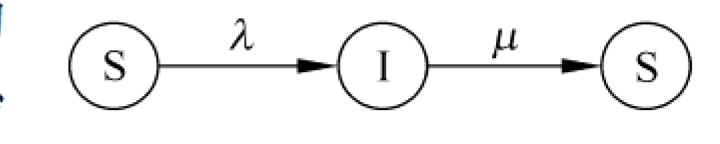


图 9-2　SIS 病毒传播模型

对于像肺结核、淋病这类治愈后患者也没有办法获得免疫能力的疾病,往往采用 SIS 模型来描述,患者被治愈后自动恢复为易感染状态。

如果用 $s(t)$、$i(t)$分别标记网络中节点处于 S 态和 I 态的比例,则在 SIS 模型中,疾病传播可以用式(9-1)来描述。

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}s(t)}{\mathrm{d}t} = -\lambda \langle k \rangle i(t)s(t) + \mu i(t) \\ \dfrac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t} = \lambda \langle k \rangle i(t)s(t) - \mu i(t) \end{cases} \tag{9-1}$$

式中　$\lambda$——感染率;

$\mu$——恢复率;

$\langle k \rangle$——网络中节点的平均度。

2. SIR(Susceptible Infected Recovered)模型

在 SIR 模型中存在 3 种状态,即易感态(S)、感染态(I)和恢复态(R)。处于易感态的个体如果接触到处于感染态的个体,则会以一定的概率 $\lambda$ 被感染而变成感染态;处于感染态的个体一方面能够将疾病或病毒传播给易感态的个体,另一方面又会以概率 $\mu$ 被治愈而变成处于恢复态的个体,并且从此具有了永久的免疫能力,从而不会再次感染上疾病或病毒,也不会把它们传播给其他个体。SIR 模型的感染机制可以用图 9-3 表示。

$$S \xrightarrow{\lambda} I \xrightarrow{\mu} R$$

图 9-3　SIR 病毒传播模型

对于麻疹、百日咳等疾病,被感染的个体一旦被治愈则具有了永久的免疫能力或不能被治愈而导致死亡,从而不能再去感染其他的处于易感态的个体,这类流行病的传播过程一般采用 SIR 模型来描述。

$\lambda$ 为感染率,$\mu$ 为恢复率,$s(t)$、$i(t)$、$r(t)$分别表示处于易感态 S、感染态 I 和恢复态 R 的节点数占网络中总节点数的比例,$\langle k \rangle$表示网络中节点的平均度,SIR 模型的动力学方程可以表述为

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}s(t)}{\mathrm{d}t} = -\lambda < k > is \\ \dfrac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t} = \lambda < k > is - \mu i \\ \dfrac{\mathrm{d}r(t)}{\mathrm{d}t} = \mu i \end{cases} \tag{9-2}$$

## 9.3　A(H1N1)病毒传播模型及仿真

建立 A(H1N1)病毒传播的 SIRD 模型,在 SIR 模型基础上增加死亡状态(D),其流图如图 9-4 所示。SIRD 模型的微分方式为式(9-3),参数含义见表 9-1。

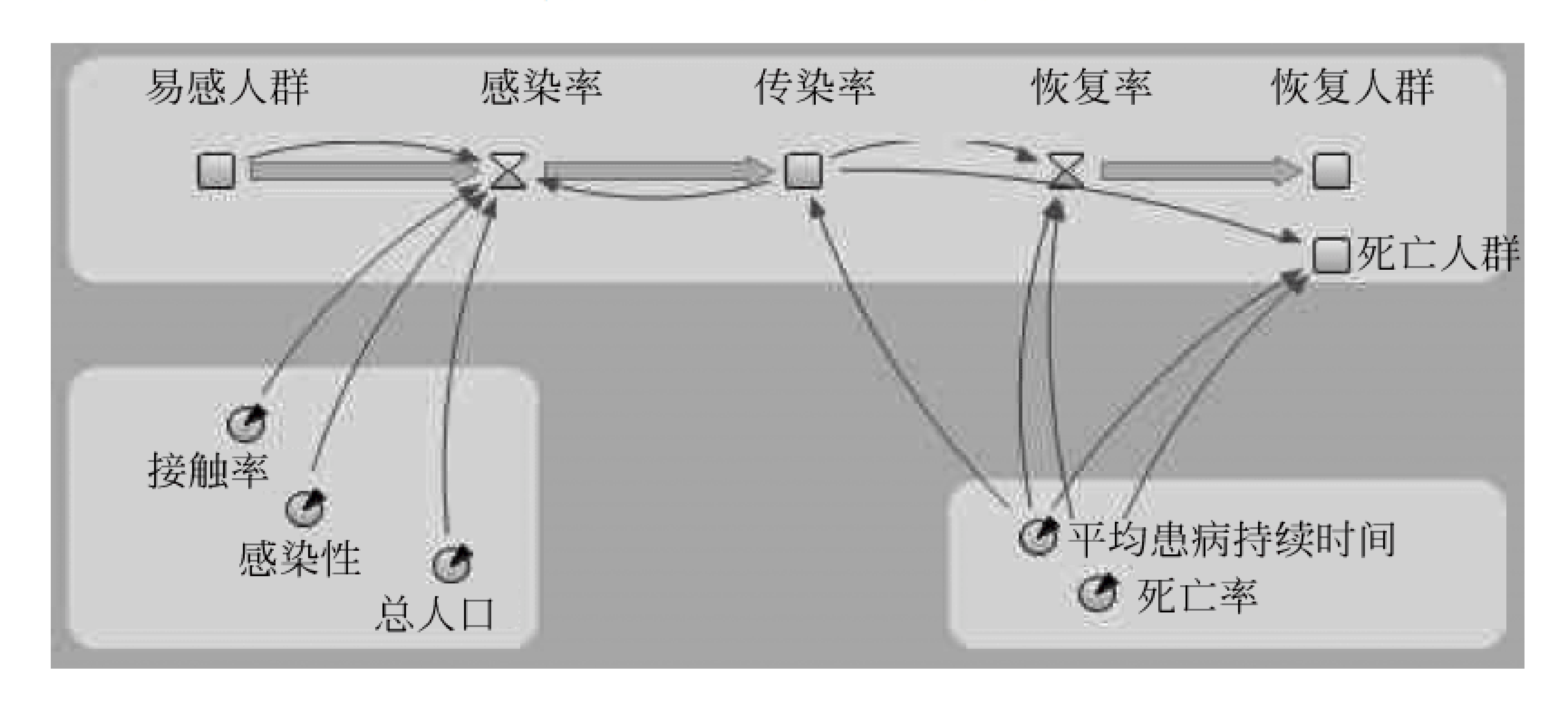
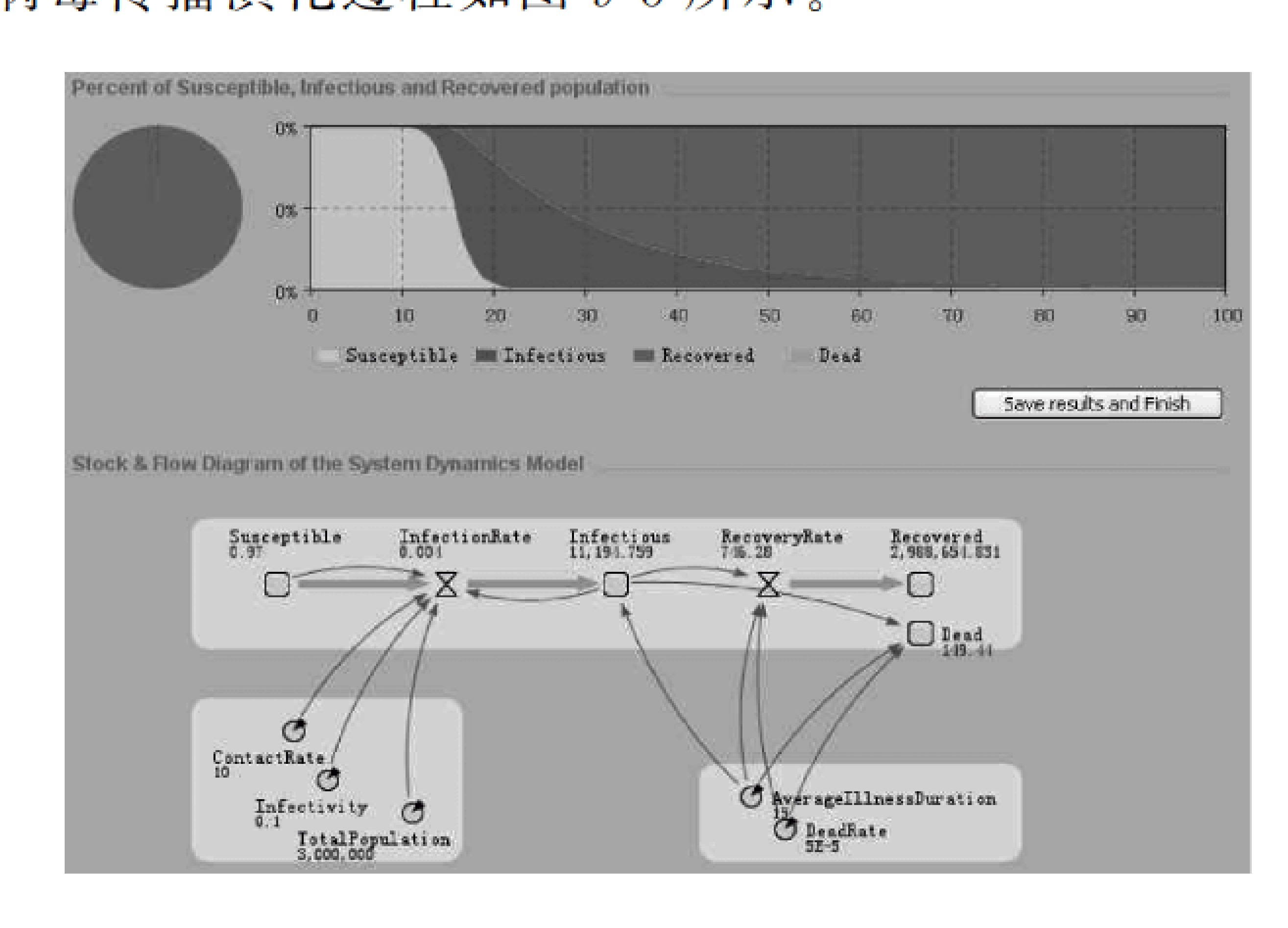



图 9-4　SIRD 模型流图

**表 9-1　参数说明表**

| 名称 | 含　　义 | 名称 | 含　　义 |
|---|---|---|---|
| s | 网络中 Susceptible 状态的节点数 | i | Infectious 状态的节点数 |
| r | Revoverd 状态的节点数 | dead | Dead 状态的节点数 |
| CR | 接触率(Contact Rate) | Inf | 传播力(Infectivity) |
| TP | 网络的节点总数(Total Population) | AID | 平均恢复周期(Average Illness Duration) |
| DR | 死亡率(Dead Rate) | | |

根据 SIRD 模型，一个 300 万人口的中等城市 H 市，在不采取紧急疫情控制和免疫接种等措施的情况下，当甲流病毒感染个体初始值为 1 时，仿真时间为 100 天，A(H1N1)病毒传播演化过程如图 9-5 所示。



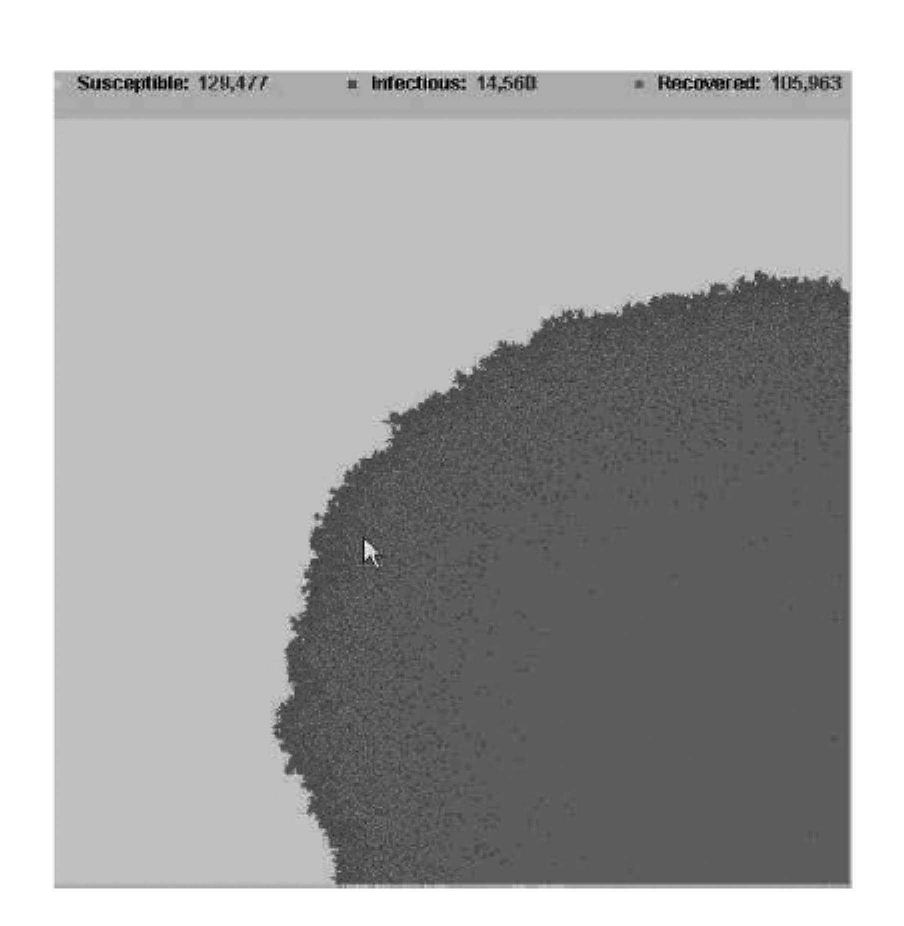




图 9-5　H 市甲流疫情传播仿真过程

$$
\begin{cases}
\dfrac{ds}{dt} = -\dfrac{CR * Inf * s * i}{TP} \\
\dfrac{di}{dt} = \dfrac{CR * Inf * s * i}{TP} - \dfrac{i}{AID} \\
\dfrac{dr}{dt} = \dfrac{i * (1 - DR)}{AID} \\
\dfrac{ddead}{dt} = \dfrac{i * DR}{AID}
\end{cases}
\tag{9-3}
$$

仿真显示，两周后出现甲流大爆发，几乎所有人都会感染甲流病毒，100 天共死亡 149 人，由于死亡率较低，绝大多数感染个体都会恢复健康，并具备免疫力。

方案一：采取单纯疫情隔离控制措施，如学校停课，通过媒体、行政手段限制人口自由流动，减少集会和出行，对疑似病例进行隔离，减少接触率 CR，H 市 A(H1N1)病毒传播仿真过程如图 9-6 所示。

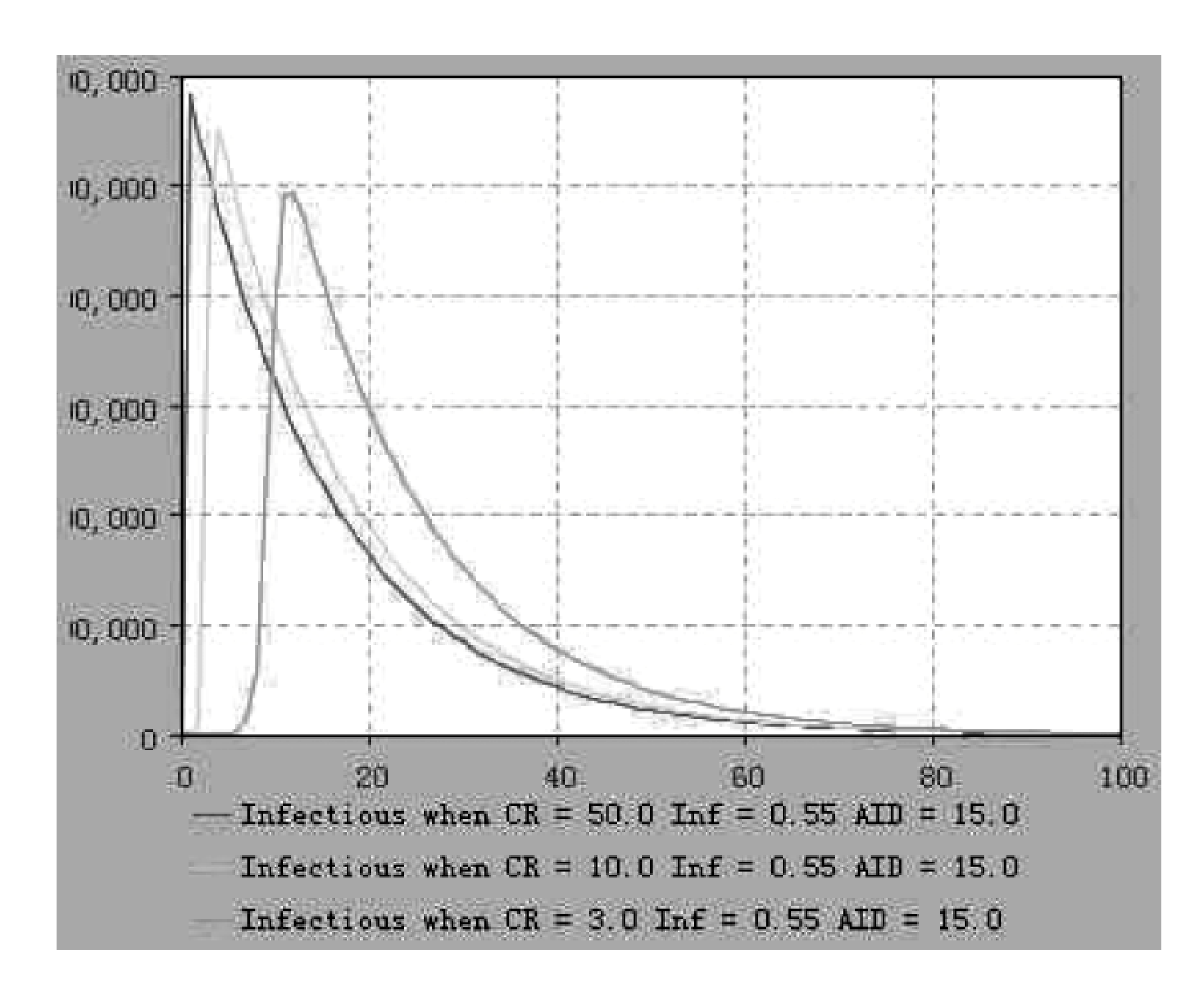



图 9-6　方案一

方案二：采取单纯免疫措施，对重点目标（学校师生、交通行业人员、医疗行业人员等）进行免疫接种，增大接种规模的随机免疫等，减少甲流传播力 Inf，H 市 A（H1N1）病毒传播仿真过程如图 9-7 所示。

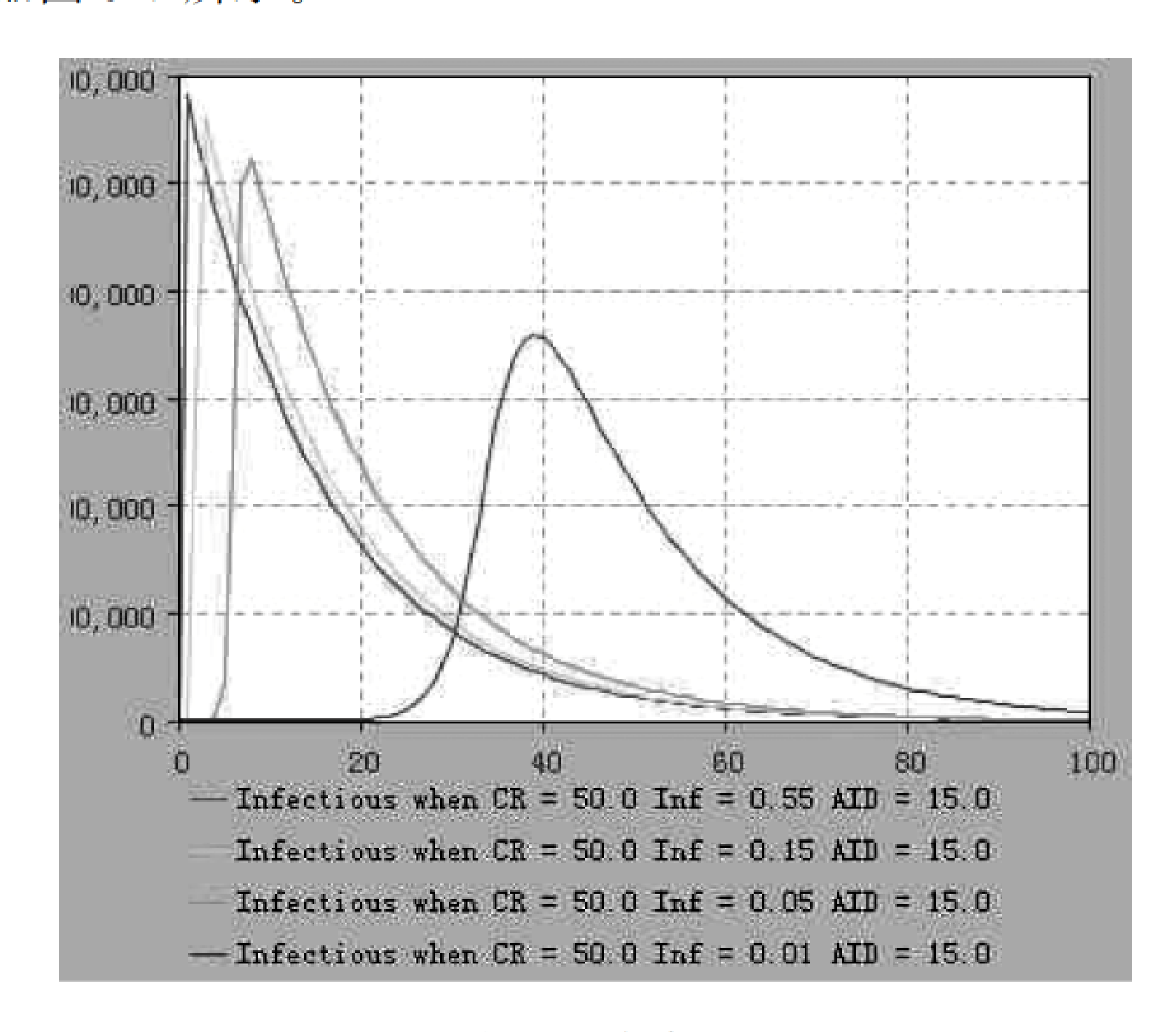



图 9-7　方案二

方案三：采取隔离控制和免疫多种措施，H 市 A（H1N1）病毒传播仿真过程如图 9-8 所示。当控制强度大于一个临界值时，感染比例急剧下降，疫情得到控制。

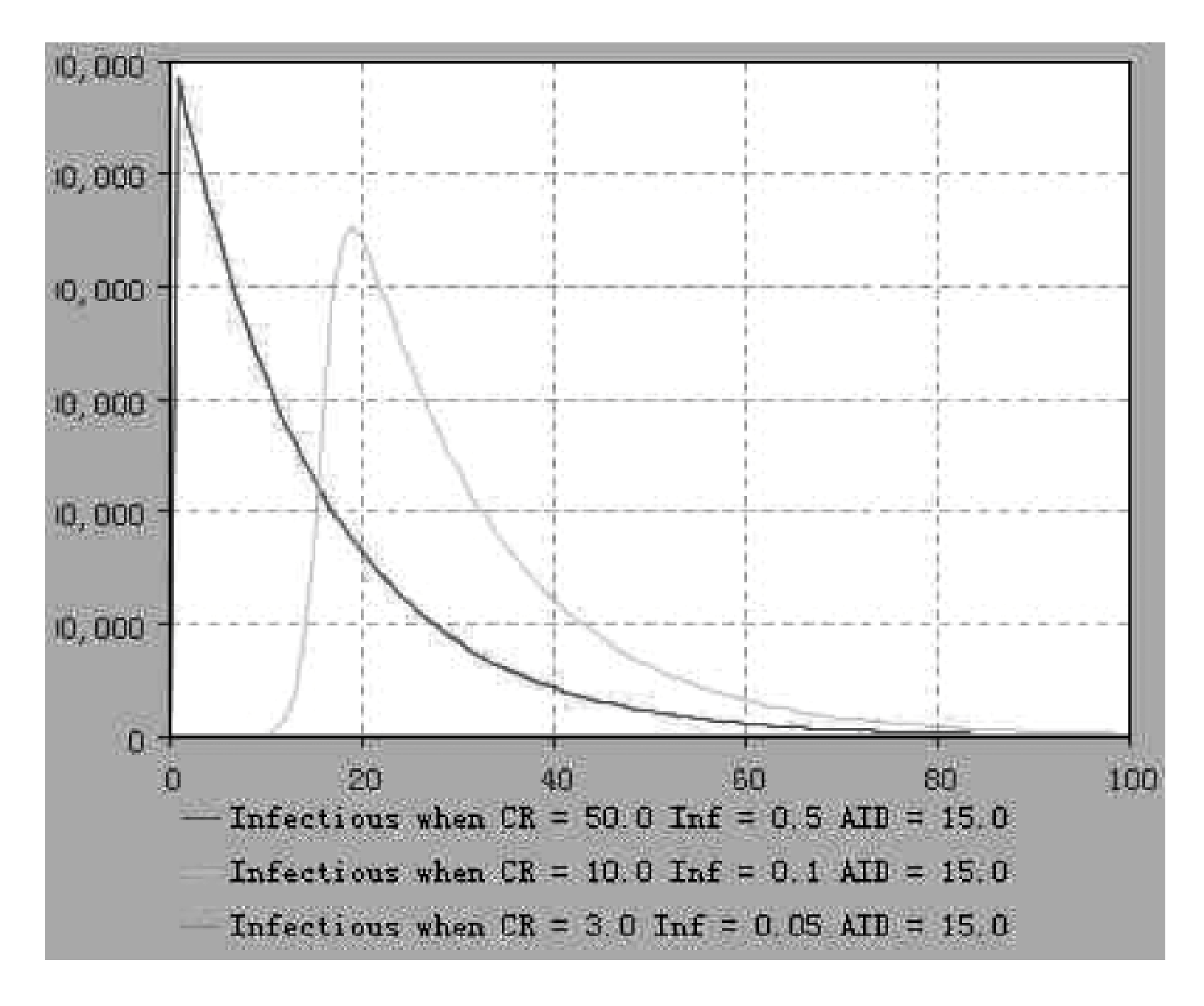



图 9-8　方案三

## 9.4　本章小结

我们建立了 SIRD 病毒传播模型,采用中国疾病预防控制中心的 A(H1N1)病毒传播数据,基于复杂网络的小世界效应和无标度特性,获得网络的度分布,选择世界著名的 AnyLogic 仿真平台进行了仿真实验研究。在采取隔离控制、免疫接种等复合措施下,通过 SIRD 模型的仿真实验,一个 300 万人口的 H 市,100 天死亡 1.66 人,感染 4141 人,恢复 3318 人,由于轻症病人没有统计,确诊或重症病人才会上报,H 市实际死亡 1 人,仿真数据与实际情况基本相符。仿真数据说明,学校停课、居家隔离是应对疫情大流行的较好措施。通过信息共享,尽快开发并使用接种疫苗,对控制疫情暴发有好效果。其他如限制人口自由流动、扩大疑似病例的处理范围、加快病人隔离速度和力度、设置快速急诊通道等,都是常用的有效措施。同时表明存在一个控制强度的临界值,当超过这个临界值时,对疫情暴发的控制有较好的效果;反之依然会出现疫情暴发。

APPENDIX

# 附录　高校教师工作压力接受问卷调查研究

老师,您好!

我是一名研究生,拟对我国高校教师职业压力问题进行调查研究。您作为一名高校教师,对调查问卷中涉及的各项问题应该最有发言权。我们将充分尊重您的意见,并对您的答案保密。您的意见和建议将对我的研究提供重要的帮助,在此向您致以诚挚的谢意。

| 第一部分 | | 您的基本情况 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 出生年月 | | 性别 | | 职称 | | 学历 | |
| 从事教师职业年限 | | 您的岗位 | □教学□科研□二者兼具 | | | 聘期 | |

| 第二部分 | 针对各选项,选择一个最适合您的答案 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 序号 | 选　　项 | A 没有 | B 少有 | C 有 | D 多有 | E 很多 |
| 1 | 担心工作(生活),不能悠闲度日 | | | | | |
| 2 | 胃周围有沉重感,不清爽 | | | | | |
| 3 | 缺乏食欲,不管吃什么都觉得不对味 | | | | | |
| 4 | 不想输给同事,不管做什么事都显得很焦虑 | | | | | |
| 5 | 不容易入睡,睡不好 | | | | | |
| 6 | 睡觉时经常做噩梦 | | | | | |
| 7 | 觉得别人在叫自己,应声回答时却发现弄错了 | | | | | |
| 8 | 因为一点小事而感到很担心 | | | | | |
| 9 | 最近容易健忘,而且什么事都无法立刻想起来 | | | | | |

续表

| 第二部分 | | 针对各选项，选择一个最适合您的答案 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 序号 | 选　项 | A 没有 | B 少有 | C 有 | D 多有 | E 很多 |
| 10 | 喝酒时会尽情地喝 | | | | | |
| 11 | 心悸、呼吸困难，有时无法动弹 | | | | | |
| 12 | 无法长时间阅读，中途会放弃 | | | | | |
| 13 | 总觉得心情沉重，做什么事情都无法长久持续 | | | | | |
| 14 | 在家庭内因为一点小事就觉得不高兴，容易生气 | | | | | |
| 15 | 行为冲动、易激怒 | | | | | |
| 16 | 8 小时之外，仍然加班工作 | | | | | |
| 17 | 为人际关系担心 | | | | | |
| 18 | 对未来的职业发展感到迷茫 | | | | | |
| 19 | 当您的工作业绩未被恰当地评价时，感到气愤，想不通 | | | | | |
| 20 | 觉得在当前聘期内，科研要求过高，难以达到 | | | | | |
| 21 | 职称评聘要求高、比例小、竞争激烈，担心自己评不上而寝食难安 | | | | | |
| 22 | 知识更新加速，需要不断学习、不断进修，这对自己是个负担 | | | | | |
| 23 | 面临新一轮评聘时感到很紧张 | | | | | |
| 24 | 不满意现在的工作，如果可以再次择业，不愿意继续从事教师职业 | | | | | |

| 第三部分 | 您的建议 |
|---|---|

1. 您认为还有哪些原因给您及您的同事带来压力？

2. 您认为高校在缓解教师工作压力方面有哪些作为？

3. 您认为自己应采取何种措施来缓解这种压力？

# 参 考 文 献


[1] 斯科特.社会网络分析法[M].重庆：重庆大学出版社，2007.
[2] Phillip L Rice.压力与健康[M].石林，古丽娜，梁竹苑，等译.北京：中国轻工业出版社，2000.
[3] 斯蒂芬P罗宾斯.组织行为学[M].北京：中国人民大学出版社，1997.
[4] 白方周，方瑾，张文明.国外定性仿真应用评述[J].系统仿真学报，1998(4)：1-8.
[5] 白方周，张雷.定性仿真导论[M].合肥：中国科学技术大学出版社，1998.
[6] 百度指数[EB/OL].2001.http://index.baidu.com/.
[7] 蔡宁，吴结兵.产业集群组织间关系密集性的社会网络分析[J].浙江大学学报(人文社会科学版)，2006，(4)：1-10.
[8] 陈英武，高研方.贝叶斯网络扩展研究综述[J].控制与决策，2008，23(10)：1081-1091.
[9] 程洁.网络传播学[M].苏州：苏州大学出版社，2007.
[10] 戴汝为，李耀东.基于综合集成的研讨厅体系与系统复杂性[J].复杂系统与复杂性科学，2004，1(4)：1-24.
[11] 戴汝为.从定性到定量的综合集成技术[J].模式识别与人工智能，1991，4(1)：5-10.
[12] 董升平，胡斌，刘天印，等.基于消息传递的人-物混合系统模拟[J].系统工程与电子技术，2009，30(10)：2527-2533.
[13] 龚晓光，黎志成，胡斌.多智能体模拟技术在团队行为研究中的应用[J].华中科技大学学报，2004，32(6)：29-32.
[14] 龚晓光，黎志成，胡斌.员工个体行为激励定性模拟方法与系统研究[J].武汉理工大学学报信息与管理(工程版)，2004，26(2)：195-199.
[15] 龚晓光，黎志成，胡斌.基于过程知识库的行为激励定性模拟研究[J].系统仿真学报，2004，16(2)：289-294.
[16] 贺筱媛，胡晓峰，司光亚.基于社会物理学的网络信息传播行为仿真研究[J].系统仿真学报，2010，22(12)：2957-2962.
[17] 侯赟慧.基于社会网络的城市群结构定量化分析——以长江三角洲城市群资金往来关系为例[J].复杂系统与复杂性科学，2006，3(2)：35-42.
[18] 胡斌，董升平.管理者-人群心理归顺博弈定性模拟原理[J].系统仿真学报，2005，17(2)：2813-2816.
[19] 胡斌，董升平.企业管理者自我效能感的定性模拟[J].系统工程，2005，23(8)：12-19.
[20] 胡斌，董升平.人群工作行为定性模拟方法[J].管理科学学报，2005，8(2)：77-85.
[21] 胡斌，黎志成.企业市场营销策略选择的混合定性模拟方法[J].系统仿真学报，2002，14(10)：1266-1270.
[22] 胡斌，邵祖峰.企业关键岗位管理人员甄选定性模拟方法及原型系统[J].系统工程理论与实践，2004，24(11)：15-21.
[23] 胡斌，殷芳芳.集成CA与QSIM的非正式组织群体行为演化的定性模拟[J].中国管理科学，2005，13(5)：130-136.

[24] 胡斌，夏功成.群体行为集成化知识描述与定性模拟研究[J].中国管理科学，2004，12(1)：100-106.
[25] 胡斌，夏功成.集成因果推理 QSIM 的人群行为定性模拟[J].工业工程与管理，2004，3：32-37.
[26] 胡斌.复杂人群系统定性模拟研究[J].管理学报，2004，1(1)：75-81.
[27] 胡斌.群体行为的定性模拟原理与应用[M].武汉：华中科技大学出版社，2006.
[28] 黄文梅，杨勇，熊桂林，等.系统仿真分析与设计[M].长沙：国防科技大学出版社，2001.
[29] 贾传亮，池宏，孙颖，等.基于 QSIM 算法的突发事件应急处理过程模拟研究[J].中国管理科学，2008，15(z1)：740-744.
[30] 匡文波.网络传播学概论[M].北京：高等教育出版社，2004.
[31] 黎志成，黎琦，胡斌.研发团队绩效转换过程的定性模拟研究[J].中国管理科学. 2004，12(2)：128-132.
[32] 黎志成，刘凤霞，胡斌.营销人员管理的定性模拟研究[J].华中科技大学学报，2004，32(1)：99-101.
[33] 李伯虎，柴旭东，毛媛.现代仿真技术发展中的两个热点——ADS、SBA [J].系统仿真学报，2001，13(1)：101-105.
[34] 李伯虎，柴旭东，朱文海，等.现代建模与仿真技术发展中的几个焦点[J].系统仿真学报，2004，16(9)：1871-1878.
[35] 李国杰.关于网络社会宏观信息学研究的一些思考[J].中国计算机学会通讯，2006，2(2)：1-8.
[36] 李虹.大学教师工作压力量表的编制及其信效度指标[J].心理发展与教育，2005，(4).
[37] 李虹.高校教师的工作压力类型和压力强度研究[J].清华大学教育研究，2005，26(5)：97-102.
[38] 李建会，张江.数学创世纪：人工生命的新科学[M].北京：科学出版社，2006.
[39] 李树茁，任义科，费尔德曼，等.中国农民工的整体社会网络特征分析[J].中国人口科学，2006，3：19-29.
[40] 林聚任.社会网络分析[M].北京：北京师范大学出版社，2009.
[41] 林伟.组织压力研究综述[J].市场论坛，2006，25(4)：83-84.
[42] 刘常昱，胡晓峰，罗批，等.基于 Agent 的网络舆论传播模型研究[J].计算机仿真，2009，26(1)：20-23.
[43] 刘大海. SPSS 15.0 统计分析从入门到精通[M].北京：清华大学出版社，2008.
[44] 刘军.社会网络模型研究论析[J].社会学研究，2004，(1)，1-12.
[45] 刘军.社会网络分析导论[M].北京：社会科学文献出版社，2004.
[46] 刘树载.面对压力，教师自我心理调整法.中国教师报，2003.
[47] 刘晓平，唐益明，郑利平.复杂系统与复杂系统仿真研究综述[J].系统仿真学报，2008，20(23)：6303-6315.
[48] 刘晓平，郑利平，路强.仿真 VV&A 标准和规范研究现状及分析[J].系统仿真学报，2007，19(2)：456-460.
[49] 刘洋.职场压力管理——做一个轻松的人[M].北京：中国经济出版社，2006.
[50] 刘怡君，李倩倩，马宁，等.社会舆情的网络分析方法与建模仿真[M].北京：科学出版社，2016.
[51] 刘志坚.基于产业集群的企业生态网络研究[J].经济与管理研究，2006，(1)：61-64.
[52] 罗家德.社会网分析讲义[M].北京：社会科学文献出版社，2005.
[53] 马可一.工作情景中的压力管理[J].外国经济与管理，2001，23(10)：26-28，42.
[54] 冒容，贺晓星，穆荣华，等.无觅桃花源何处好耕田——高校教师精神压力问题初探[J].高等教

究,1997,7:31-36.
[55] 欧阳霞. EAMOLA 成员科研合作行为的网络可视化研究[J]. 图书情报知识,2006,(6):33-37.
[56] 潘欣,权正良,钱玉燕. 高校教师职业压力与心理健康关系的研究[J]. 中国健康教育,2003,19(10):792-793.
[57] 潘灶烽,汪小帆,李翔. 可变聚类系数无标度网络上的谣言传播仿真研究[J]. 系统仿真学报,2006,18(8):2346-2348.
[58] 彭先桃. 国外高校师资队伍建设的启示与借鉴[J]. 东南亚纵横,2006,72.
[59] 钱学森,于景元,戴汝为. 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论[J]. 自然杂志,1990,(01).
[60] 钱学森. 创建系统学[M]. 太原:山西科技出版社,2001.
[61] 钱学森. 再谈开放的复杂巨系统[J]. 模式识别与人工智能,1991,4(1):1-4.
[62] 瞿毅臻,李琦,甘杰夫. 基于 Repast 平台的 SARS 传播仿真建模研究[J]. 计算机科学,2008,35(2):286-288.
[63] 撒力. 复杂适应系统理论方法及其应用研究[D]. 中国科学技术大学,2005.
[64] 邵爱华. 济南 IT 员工工作压力调查及压力管理研究[D]. 山东大学硕士论文,2006.
[65] 邵晨曦,白方周. 定性仿真技术及应用[J]. 系统仿真学报,2004,16(2):202-209.
[66] 邵光华. 国外教师压力研究综述[J]. 比较教育研究,2002,(11):20-24.
[67] 石纯一,廖士中. 定性推理方法[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
[68] 石林. 工作压力理论及其在研究中的重要性[J]. 心理科学进展,2004,4(3):433-438.
[69] 时振涛. 基于演化 Agent 的人工社会系统建模方法及其应用研究[D]. 兰州理工大学,2013.
[70] 世界卫生组织:甲型 H1N1 流感——最新简报 104[EB/OL]. (2010-06-13)[2010-06-16]. http://www.pandemicflu.ac.cn/n3520543/n3521044/37953.html.
[71] 舒晓兵,廖建桥. 工作压力研究:一个分析的框架[J]. 华中科技大学学报,2002,(5).
[72] 舒晓兵,廖建桥. 工作压力与工作效率理论研究述评[J]. 南开管理评论,2002,(3):20-23.
[73] 舒晓兵. 工作压力与工作效率理论研究论述[J]. 南开管理评论,2001,3.
[74] 司马贺. 人工科学——复杂性面面观[M]. 武夷山,译. 上海:上海科技教育出版社,2004.
[75] 宋智超. 基于人工社会的流行病传播与控制仿真方法研究[D]. 国防科学技术大学,2012.
[76] 孙立志,沈选伟. 西方工作压力研究概况[J]. 边疆经济与文化,2007,43(7):74-76.
[77] 田国会,李晓磊. Petri 网方法及其在离散事件动态系统研究中的应用[J]. 山东工业大学学报,2000,30(4):322-329.
[78] 瓦莱丽·萨瑟兰,卡里·库珀. 战略压力管理——组织的方法[M]. 北京:经济管理出版社,2000.
[79] 王飞跃,史蒂夫·兰森. 从人工生命到人工社会——复杂社会系统研究的现状和展望[J]. 复杂系统与复杂性科学,2004,(5):42-47.
[80] 王飞跃. 计算实验方法与复杂系统行为分析和决策评估[J]. 系统仿真学报,2004,16(5):893-897.
[81] 王飞跃. 关于复杂系统的建模、分析、控制和管理[J]. 复杂系统与复杂性科学,2006,3(2):26-34.
[82] 王飞跃. 人工社会,计算实验,平行系统——关于复杂社会经济系统计算研究的讨论[J]. 复杂系统与复杂性科学,2004,1(4):25-35.
[83] 王正中. 系统仿真技术[M]. 北京:科学出版社,1986.
[84] 王正中. 现代计算机仿真技术及其应用[M]. 北京:国防工业出版社,1991.

[85] 王志凌,黎志成,胡斌.企业促销组合决策的 Arena 模拟系统研究[J].华中科技大学学报(自然科学版),2002,30(7):77-79.
[86] 王中义.网络传播[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2001.
[87] 王子才.关于仿真理论的探讨[J].系统仿真学报,2000,12(6):604-608.
[88] 王子才.仿真科学的发展及形成[J].系统仿真学报,2005,17(6):1279-1281.
[89] 吴江,胡斌,刘天印.交互记忆系统影响人群与工作交互的模拟研究[J].管理科学,2009,22(1):48-58.
[90] 吴江,胡斌,鲁耀斌.实证驱动的信息系统扩散与组织互动模拟研究[J].管理科学学报,2010,13(10):21-31.
[91] 吴江,胡斌,张金隆,等.电子政务中群体行为多智能体仿真决策[J].仿真建模理论与实践,2008,16(10):1571-1587.
[92] 吴江.社会网络的动态分析与仿真实验——理论与应用[M].武汉:武汉大学出版社,2012.
[93] 吴祥勇,徐晓楠.亚健康教师过半[N].中国教育报,2003.4.22.
[94] 吴迎华.社会转型时期教师心理健康问题及对策[J].健康心理学杂志,2003,(5).
[95] 夏功成.企业知识群体行为的定性模拟研究[D].华中科技大学,2005.
[96] 谢金山.中小企业领导风格评价[D].浙江大学,2001.
[97] 新浪新闻中心.中国患者累计汇总(截至 12 月 22 日)[EB/OL].( 2009-12-22 )[2010-06-16].http://news.sina.com.cn/z/zhuliugan/index.shtml.
[98] 宣慧玉,高宝俊.管理与社会经济系统仿真[M].武汉:武汉大学出版社,2002.
[99] 薛薇.统计分析与 SPSS 的应用[M].北京:人民大学出版社,2001.
[100] 杨建梅,王舒军,陆履平,等.广州软件产业社会网络与竞争关系复杂网络的分析与比较[J].管理学报, 2006,3(6):723-727.
[101] 姚立新.教师压力管理[M].杭州:浙江大学出版社,2005.
[102] 姚丽霞.知识分享与虚拟团队绩效的关系研究[D].浙江大学,2002.
[103] 殷国鹏,莫云生,陈禹.利用社会网络分析促进隐性知识管理[J].清华大学学报(自然科学版),2006,46(1):964-969.
[104] 尹建华,王玉荣.资源外包网络的进化:一个社会网络的分析方法[J].南开管理评论,2005,8(6):1-10.
[105] 余雷,薛惠锋,高晓燕,等.基于元胞自动机的传染病传播模型研究[J].计算机工程与应用,2007,43(2):196-198.
[106] 俞国良,曾盼盼.论教师心理健康及促进[J].北京师范大学学报,2001,(1).
[107] 袁崇义. Petri 网原理[M].北京:电子工业出版社,1997.
[108] 张慧元.大众传播理论解读[M].苏州:苏州大学出版社,2005.
[109] 张金峰.企业员工工作压力研究[D].北京师范大学,2003.
[110] 张曦燕.高校教师心理压力分析及调适策略研究[J].江西社会科学,2003,(7):175-177.
[111] 赵立芹.教师压力成因分析[J].外国教育研究,2004,(2):38-40.
[112] 中国互联网络信息中心(CNNIC).第 40 次中国互联网络发展状况统计报告,2017.
[113] 周跃萍.不同职业人员工作压力源及压力反应的比较研究[J].心理学探新,2004,(1):62-65.
[114] 朱江,伍聪.基于 Agent 的计算机建模平台的比较研究[J].系统工程学报,2005,(02):160-166.
[115] 朱江,伍聪.基于 Agent 的计算机建模平台的比较研究[J].系统工程学报,2005,20(2):160-166.

[116] 朱六璋,陈宗海.复杂系统的定性建模和定性控制综述[J].信息与控制,2001(3):71-77.
[117] Abramis J D. Relationship of job stressors to job performance: linear or an inverted-u? [J]. Psychological Reports,1994,75: 547-558.
[118] Albert R,Barabási A L. Statistical mechanics of complex networks[J]. Rev. Mod. Phys., 2002,74: 47-97.
[119] Albert R,Jeong H,Barabási A L. Attack and error tolerance of complex networks[J]. Nature, 2000,(406): 387-402.
[120] Albert R,Barabasi A L. Topology of evolving networks: local events and universality[J]. Physical Review Letters,2000,85(24): 5234-5237.
[121] Albert R,Barabasi A L. Statistical mechanics of complex networks [J]. Reviews of Modern Physics,2002,74(1): 47.
[122] Anderson C R. Coping behavior as intervening mechanisms in the inverted-u stress performance relationship[J]. Journal of Applied Psychology,1976,61: 30-34.
[123] Anderson R M,May R M. Infectious Diseases of Humans[M]. Oxford: Oxford University Press,1992: 82-98.
[124] Anderson P. Complexity theory and organization science [J]. Organization Science,1999, 10(3): 216-232.
[125] Arthur W,Holland J,LeBaron B,et al. Asset pricing under endogenous expectations in an artificial stock market[J]. Santa Fe Institute,1997.
[126] Axelrod R,Tesfatsion L. Appendix AA guide for newcomers to agent-based modeling in the social sciences[J]. Handbook of Computational Economics,2006,2: 1647-1659.
[127] Axtell R,Axelrod R,Epstein J M,et al. Aligning simulation models: a case study and results [J]. Computation and Mathematical Organization Theory,1996,1(2): 123-141.
[128] Bailey N T J. The mathematical theory of infectious diseases and its applications[M]. New York: Hafner Press,1975: 125-136.
[129] Bailey N T J. The mathematical theory of infectious diseases[M]. London: Griffin,1975.
[130] Bailey N. The Mathematical Theory of Infectious Diseases and its Application [M]. Griffin, London,1975.
[131] Balci O. Validation,verification and testing techniques throughout the life cycle of a simulation study[J]. Annuals of Operations Research,1994,53: 121-173.
[132] Barabási A L,Albert R,Jeong H. Mean-field theory for scale-free random networks. Physics A, 1999,(272): 173-187.
[133] Barabasi A L,Albert R. Emergence of scaling in random networks[J]. Science,1999,286 (5439): 509-512.
[134] Barabasi A L. The network takeover[J]. Nature Physics,2011,8(1): 14-16.
[135] Barlas Y. Formal aspects of model validity and validation in system dynamics[J]. System Dynamics Review,1996,12(3): 183-210.
[136] Barnett W P,Carroll G R. Modeling internal organizational change[J]. Annual Review of Sociology,1995,21: 217-236.
[137] Basole R C. Visualization of interfirm relations in a converging mobile ecosystem[J]. Journal of Information Technology,2009,24(2): 144-159.

[138] Bass F. A new product growth model for consumer durables[J]. Management Science, 1969, 15(5): 215-227.
[139] Begon M, Townsend C R, Harper J L. Ecology from individuals to ecosystem[M]. Malden: Blackwell Publishing, 2006.
[140] Bell G G, Zaheer A. Geography, networks, and knowledge flow[J]. Organization Science, 2007, 18(6): 955-972.
[141] Ben-Gal L(Ed.). Bayesian networks[M]. Wiley & Sons, 2007.
[142] Berends P, Romme G. Simulation as a research tool in management studies. European Management Journal, 1999, 17(6): 576-583.
[143] Berkun S. The art of project management[M]. O'Reilly Media, Inc., 2005.
[144] Bernard H R. Review on the development of social network analysis: a study in the sociology of science[J]. Social Networks, 2005, 27(4): 377-384.
[145] Berndsen R, Daniels H. Causal reasoning and explanation in dynamic economic systems[J]. Journal of Economic Dynamics and Control, 1994, 18: 251-271.
[146] Berndsen R. Causal ordering in economic models[J]. Decision Support Systems, 1995, 15: 157-165.
[147] Berscheid E, Walster E. Interpersonal attraction (topics in social psychology)[M]. Longman Higher Education, 1978.
[148] Bianconi G, Barabasi A L. Bose-Einstein condensation in complex networks[J]. Physical Review Letters, 2001, 86(24): 5632-5635.
[149] Bitts C T. The complexity of social networks: theoretical and empirical findings[J]. Social Networks, 2001, 23(1): 31-71.
[150] Blau P M. Exchange and power in social life[M]. Transaction Publishers, 1964.
[151] Boguñá M, Pastor-Satorras R. Epidemic spreading in correlated complex networks[J]. Phys. Rev. E, 2002, (66): 047104(1-4).
[152] Boguñá M, Pastor-Satorras R A, Vespignani. Absence of epidemic spreading in scale-free networks with degree correlations[J]. Phys. Rev. Lett., 2003, (90): 028701(1-4).
[153] Boguñá M, Pastor-Satorras R A, Vespignani. Epidemic spreading in complex networks with degree correlations[J]. Physics and Astronomy, 2003, (625): 127-147.
[154] Boguñá M, Pastor-Satorras R, Vespignani A. Absence of epidemic spreading in scale-free networks with degree correlations[J]. Phys. Rev. Lett., 2003, 90: 028701(1-4).
[155] Bollobas B. Random graphs[M]. New York: Academic Press, 2001.
[156] Bonacich P. Factoring and weighing approaches to clique identification[J]. Journal of Mathematical Sociology, 1987, 2: 113-120.
[157] Borgatti S P, Cross, R. A relational view of information seeking and learning in social networks [J]. Management Science, 2003: 432-445.
[158] Borgatti S P, Everett M G, Freeman L C. Ucinet for windows: software for social networks[J]. Harvard Analytic Technologies, 2006.
[159] Borgatti S P, Mehra A, Brass D J, et al. Network analysis in the social sciences[J]. Science, 2009, 323(5916): 892-895.
[160] Bornmann L, Daniel H D. What do citation counts measure? A review of studies on citing

behavior[J]. Journal of Documentation,2008,64(1): 45-80.

[161] Bostrom R P,Heinen J S. MIS problems and failures: A socio-technical perspective,part Ⅰ: the causes[J]. MIS Quarterly,1977a,1(3): 17-32.

[162] Bostrom R P,Heinen J S. MIS problems and failures: A socio-technical perspective,part Ⅱ: the application of socio-technical theory[J]. MIS Quarterly,1977b,1(4): 11-28.

[163] Bourdieu P. The forms of social capital[M]. Greenwood Press,1986.

[164] Brass D J. A social network perspective on industrial/organizational psychology[J]. Industrial/Organizational Handbook,2009.

[165] Brass D J,Galaskiewicz J,Greve H R,et al. Taking stock of networks and organizations: a multilevel perspective[J]. Academy of Management Journal,2004,47(6): 795-817.

[166] Brin S,Page L. The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine[C]. International Conference on World Wide Web,1998,30(1-7): 107-117.

[167] Brynjolfsson E,Malone T W,Gurbaxani V,et al. Does information technology lead to smaller firms? [J]. Management Science,1994,40(12): 1628-1644.

[168] Burt R S. Structural holes: the social structure of competition[M]. Boston: Harvard University Press,1995.

[169] Burt R S. The network structure of social capital,research in organization behavior,Vol. 22,2000[M]. New York: Jai-Elsevier Science Inc,2000.

[170] Börner K,Maru J T,Goldstone R L. The simultaneous evolution of author and paper networks [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2004,101 (Suppl. 1): 5266.

[171] Börner K,Penumarthy S,Meiss M,et al. Mapping the diffusion of scholarly knowledge among major U.S. research institutions[J]. Scientometrics,2006,68(3): 415-426.

[172] Caplan R D,Cobb S,French J R P Jr,et al. Job demand and worker health: main effects and occupational differences[J]. Applied Ergonomics,1979,10(1): 48.

[173] Carley K M. Computational and mathematical organization theory: perspective and directions [J]. Computational & Mathematical Organization Theory,1995,1(1): 39-56.

[174] Carley K M. Computational organizational science and organizational engineering[J]. Simulation Modelling Practice and Theory,2002,10: 253-269.

[175] Carley K M,Fridsma D B,Casman,E,et al. Biowar: scalable agent-based model of bioattacks[J]. Systems,Man and Cybernetics,Part A: Systems and Humans,IEEE Transactions,2006,36(2): 252-265.

[176] Carley K M. Modeling organizational adaptation as a simulated annealing process [J]. Sociological Methods and Research,1996a,25(1): 138-168.

[177] Carley K M. On generating hypotheses using computer simulations[J]. Systems Engineering,2015,2(2): 69-77.

[178] Carley K M. Validating computational models. CiteSeerX,1996c.

[179] Carley K M. Organizational adaptation[J]. Annals of operations Research,1997,75(1): 25-47.

[180] Carley K M. Computational organizational science and organizational engineering[J]. Simulation Modelling Practice and Theory,2002,10(5-7): 253-269.

[181] Carley K M. Dynamic network analysis: Committee on Human Factors. National Research

Council,2003,133-145.

[182] Carley K M. Computational modeling for reasoning about the social behavior of humans[J]. Computational and Mathematical Organization Theory,2009,15(1): 47-59.

[183] Carley K M. Dynamic network analysis: committee on human factors. National Research Council,2003: 133-145.

[184] Carley K M,Diesner J,Reminga J,et al. Toward and interoperable dynamic network analysis toolkit[J]. Decision Support Systems,Special Issue on Cyberinfrastructure for Homeland Security: Advance in Information Sharing,Data Mining,and Collaboration Systems,2007,(43): 1324-1347.

[185] Carley K M. ,Kaufer D S. Semantic connectivity: an approach for analyzing symbols in semantic networks[J]. Communication Theory,1993,3(3): 183-213.

[186] Carley K M,Lee J S. C2 adaptation in a changing environment [C]. The Proceedings of the 1997 International Symposium on Command and Control Research and Technology,Washington, DC. 1997.

[187] Castelfranchi C. Modelling social action for AI agents[J]. Artificial Intelligence,1998,103(1-2): 157-182.

[188] Castellano C,Fortunato S,Loreto V. Statistical physics of social dynamics[J]. Reviews of Modern Physics,2009,81(2): 591.

[189] Cataldo M,Wagstom P A,Herbsleb J D,et al. Identification of coordination requirements: implications for the design of collaboration and awareness tools [C]. Anniversary Conference on Computer Supported Cooperative Work,2006: 353-362.

[190] Centers for Disease Control and Prevention. Swine influenza A(H1N1) infection in two children-southern California,March-April 2009[DB]. MMWR,2009,58: 400-402.

[191] Chen L C,Carley K M,Fridsma D,et al. Model alignment of anthrax attack simulations[J]. Decision Support Systems,2006,41(3): 654-668.

[192] Cheng J,Bell D,Liu W. Learning bayesian networks from data: an efficient approach based on information theory[J]. Artificial Intelligence,2002,137(1/2): 43-90.

[193] Christakis N A,Fowler J H. The spread of obesity in a large social network over 32 years[J]. New England Journal of Medicine,2007,357(4): 370-379.

[194] Christakis N A,Fowler J H. Connected: the surprising power of our social networks and how they shape our lives[M]. Little,Brown and Company,2009.

[195] Clauset A,Shalizi C R,Newman M E J. Power-law distributions in empirical data[J]. SIAM Review,2009,51(4): 661-703.

[196] Coffman K,Odlyzko A. The size and growth rate of the internet[J]. First Monday,1998,3: 5-10.

[197] Cohen R,Erez K,ben-Avraham D,et al. Efficient immunization strategies for computer networks and populations[J]. Phys. Rev. Lett. ,2003,91: 247901(1-4).

[198] Cohen S. After-effects of stress on human performance and social behavior: A review of research and theory. Psychological Bulletin,1980,88: 82-108.

[199] Coleman J S. Social capital in the creation of human capital[J]. American Journal of Sociology, 1988,94: 95-120.

[200] Coleman J S, Katz E, Menzel H. Research, C. U. B. O. A. S. medical innovation: a diffusion study[M]. Bobbs-Merrill Company New York, NY, 1966.

[201] Collins H. Simulating what? [J]. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 2011, 14(4): 16.

[202] Collins J C, Porras J L. Built to last: successful habits of visionary companies [M]. HarperCollins Publishers. 1997.

[203] Contractor N S, Wasserman S, Faust K. Testing multitheoretical, multilevel hypotheses about organizational networks an analytic framework and empirical example [J]. Academy of Management Review, 2006, 31(3): 681-703.

[204] Contractor N, Bishop A. Reconfiguring community networks: the case of prairieKNOW[J]. Digital Cities, 2000. 151-164.

[205] Cooper C L, Marshall J. Understanding executive stress[M]. Macmillan Press, London. 1978.

[206] Cooper C L, Sloan S J, Williams S. Occupational stress indicator management guide. NFER-Nelson, Windsor, 1988.

[207] Copper G F, Herskovits E. A bayesian method for the induction of probabilistic networks from data[J]. Machine Learning, 1992, 9(4): 309-347.

[208] Cowan H, Jonard N. Network structure and the diffusion of knowledge[J]. Journal of Economic Dynamics and Control, 2004, 28(8): 1557-1575.

[209] Daley D J, Gani J M. Epidemic modelling: an Introduction [M]. Cambridge University Press, 2001.

[210] Daniels H, Elders A J. Model-based diagnosis of business performance[J]. Tilburg University, Institute for Language Technology and AI, Netherlands, 1990.

[211] Davis F D, Bagozzi R P, Warshaw P R. User acceptance of computer technology: a comparison of two theoretical models[J]. Management Science, 1989, 35(8): 982-1003.

[212] Davis J, Eisenhardt K, Bingham C. Developing theory through simulation methods[J]. Academy of Management Review, 2007, 32(2): 480-499.

[213] Delre S, Jager W, Janssen M. Diffusion dynamics in small-world networks with heterogeneous consumers[J]. Computational & Mathematical Organization Theory, 2007, 13(2): 185-202.

[214] Dessein W, Santos T. Adaptive organizations[J]. Journal of Political Economy, 2006, 114(5): 956-995.

[215] Dijkum C V, Detombe D, Kuijk E V. Validation of Simulation Models [J]. Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence, 1999, 24(3): 351-363.

[216] Dijkum C, Detombe D, Kuijk E. Validation of simulation models [J]. Amsterdam SISWO Publication, 1999, 403-407.

[217] Dodds P S, J. Watts D. Universal behavior in a generalized model of contagion[J]. Physical Review Letters, 2004, 92: 218-701.

[218] Dodds P S, Muhamad R, Watts D J. An experimental study of search in global social networks [J]. Science, 2003, 301(5634): 827-829.

[219] Domingos P. Mining social networks for viral marketing[J]. IEEE Intelligent Systems, 2005, 20(1): 80-82.

[220] Dorogovtsev S N, Mendes J F F. Evolution of networks[J]. Advances in Physics, 2002, 51:

1079-1187.
[221] Easley D,Kleinberg J. Networks,crowds,and markets[M]. Cambridge University Press,2010.
[222] Epstein J M, Axtell R. Growing artificial societies: social science from the bottom up[M]. Washington,D. C: Brookings Institution Press,1996.
[223] Erdös P,Rényi A. On random graphs[J]. Publications Mathematical,1959,6: 290-297.
[224] Erdös P, Rényi A. On the evolution of random graphs[J]. Publications of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Science,1960,5: 17-61.
[225] Erdös P,Rényi A. On the strength of connectedness of a random graph[J]. Acta Mathematical Sciential Hungary,1961,12: 261-267.
[226] Ferrarini L, Trioni M. Modeling shared resources with generalized synchronization with in a petri net bottom-up approach[J]. IEEE Trans. Syst,Man,Cybern,1997,24(4): 653-659.
[227] Festinger L. A Theory of social comparison processes[M]. Bobbs-Merrill,1954.
[228] Fichman R G. Information technology diffusion: a review of empirical research [C]. Paper presented at the Thirteenth International Conference on Information Systems, Dallas, Texas, United States,1992.
[229] Fishbein M, Ajzen I. Belief, attitude, intention, and behavior: an introduction to theory and research[M]. MA: Addison-Wesley,1975.
[230] Folkman S,Lazarus R S. The relationship between coping and emotion: implications for theory and research[J]. Social Science & Medicine,1988,26(3): 309-317.
[231] Forbus K D. Qualitative process theory[J]. Artificial Intelligence,1984,24: 85-168.
[232] Fornell C, Bookstein F L. Two structural equation models: LISREL and PLS applied to consumer exit-voice theory[J]. Journal of Marketing Resource,1982,19(4): 440-452.
[233] Forrester J W. System dynamics,systems thinking,and soft OR[J]. System Dynamics Review, 1994,10(2-3): 245-256.
[234] Forsyth D R. Group dynamics[M]. Brooks/Cole,1999,46(8): 502-503.
[235] Franceschet M. A cluster analysis of scholar and journal bibliometric indicators[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology,2009,60(10): 1950-1964.
[236] Freeman L C. Centrality in social networks I: conceptual clarification[J]. Social Network,1979, (1): 215-239.
[237] French J R P Jr,Caplan R D, Van Harrison R. The mechanisms of job stress and strain[J]. Wiley,1982: 5-11.
[238] Friedkin N E. A guttman scale for the strength of an interpersonal tie[J]. Social Networks, 1990. 12: 239-252.
[239] Friedkin N E. A structural theory of social influence[M]. Cambridge University Press,2006.
[240] Friedkin N E,Johnsen E C. Social positions in influence networks[J]. Social Network,1997, (19): 209-222.
[241] Friedkin N E, Johnsen E C. Social influence networks and opinion change[J]. Advances in Group Processes,1999,(16): 1-29.
[242] Fuks H,Boccara N. Cellular automata models for diffusion of Innovations [R]. Vol. arXiv: adap-org/9704002vl: The Cornell University Library,1997.
[243] Gamma E, Helm R, Johnson R, et al. Design patterns: elements of reusable object-oriented

software[M]. Addison-Wesley Professional,1994.

[244] Gatersleben M R. Analysis and simulation of passenger flows in an airport terminal[C]. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference,1999.

[245] Gefen D,Straub D W. The relative importance of perceived ease of use in IS adoption: a study of e-commerce adoption[J]. Journal of the Association for Information Systems,2000,1.

[246] Gilbert G N, Troitzsch K G. Simulation for the social scientist[M]. Open University Press,2005.

[247] Gilbert N,Terna P. How to build and use agent-based models in social science[J]. Mind & Society,2000,1(1): 57-72.

[248] Goerzen A. Alliance networks and firm performance: the impact of repeated partnerships[J]. Strategic Management Journal,2007,28(5): 487-509.

[249] Goldenberg J,Libai B,Muller E. Talk of the network: a complex systems look at the underlying process of word-of-mouth. Marketing Letters, 2001,3(12): 211-223.

[250] Goldenberg J,Efroni S. Using cellular automata modeling of the emergence of innovations[J]. Technological Forecasting and Social Change,2001,68(3): 293-308.

[251] Goldenberg J,Libai B,Muller E. Talk of the network: a complex systems look at the underlying process of word-of-mouth[J]. Marketing Letters,2001,12: 211-223.

[252] Gossain S, Kandiah G. Reinventing value: the new business ecosystem[J]. Strategy and Leadership,1998,26(5): 29-33.

[253] Granovetter M. Threshold models of collective behavior[J]. The American Journal of Sociology,1978,83(6): 1420-1433.

[254] Granovetter M. Economic action and social structure: the problem of embeddedness[J]. Readings in Economic Sociology,1985,63-68.

[255] Guerrin F, Dumas J. Knowledge representation and qualitative simulation of salmon redd functioning part I: qualitative modeling and simulation[J]. BioSystems,2001,59: 75-84.

[256] Gulati R. Social structure and alliance formation patterns: a longitudinal analysis[J]. Administrative Science Quarterly,1995,619-652.

[257] Gulati R. Alliances and networks[J]. Strategic Management Journal,1998,(19): 293-317.

[258] Gulati R,Nohria N,Zaheer, A. Strategic networks[J]. Strategic Management Journal,2000,(21): 202-215.

[259] Gurbaxani V,Mendelson H. An integrative model of information systems spending growth[J]. Information System Research,1990,1(1): 23-46.

[260] Guzzo R A, Shea G P. Group performance and intergroup relations in organizations[J]. Handbook of Industrial and Organizational Psychology,1992,(3): 269-313.

[261] Hales D,Rouchier J,Edomonds B. Model-to-model analysis[J]. Journal of Artificial Societies and Social Simulation,2003,6(4).

[262] Hanaki N, Peterhansl A, Dodds, P S, et al. Cooperation in evolving social networks[J]. Management Science,2007,53(7): 1036-1050.

[263] Handley H A H. Effecting and evaluating organization adaptation via dynamic process selection [D]. Ph. D. Dissertation,George Mason University,Fairfax,VA,1999.

[264] Hanin Y L. A study of anxiety in sports[J]. An Analysis of Athlete Behavior Ithaca Ny

Movement,1980: 236-249.
[265] Hannan M T,Freeman J. Structural inertia and organizational change[J]. American Sociological Review,1984,49(2): 149-164.
[266] Hans Selye. The stress of life[M]. New York: McGraw-Hill,1956.
[267] Harrison J R,Lin Z,Carroll G R,et al. Simulation modeling in organizational and management research[J]. The Academy of Management Review,2007,32(4): 1229-1245.
[268] Heckerman D. A tutorial on learning with bayesian network[R]. Redmond, WA: Microsoft Research,1996.
[269] Helbing D,Molnar P. Social force model for pedestrian dynamics[J]. Physical Review,1995,51(5): 4282.
[270] Helbing D,Yu W. The outbreak of cooperation among success-driven individuals under noisy conditions[J]. PNAS,2009,106(10): 3680-3685.
[271] Herbsleb J D. Global software engineering: the future of socio-technical coordination [C]. Paper presented at the 2007 Future of Software Engineering,2007.
[272] Hethcote H W. The mathematics of infectious diseases[J]. SIAM Review,2000,42: 599-653.
[273] Hippel E V,Krogh G V. Open source software and the "private-collective" innovation model: issues for organization science[J]. Organization Science,2003,12(2): 209-223.
[274] Hirshman B R,Carley K M,Kowalchuck M J. Loading networks in construct: institute for software research [R]. School of Computer Science, Carnegie Mellon University, CASOS Technical Report,CMU-ISRI,2007.
[275] Holland J H. Emergence: from chaos to order[M]. Perseus Books Group,2006.
[276] Holmes T H,Rahe R H. The social readjustment rating scale[J]. Journal of Psychosomatic Research,1967,(11): 213-218.
[277] Hoopes D G,Madsen T L,Walker G. Guest editors' introduction to the special Issue: why is there a resource-based view? --toward a theory of competitive heterogeneity[J]. Strategic Management Journal,2003,24(10): 889-902.
[278] Hoyle R H. Structural equation modeling: concepts,issues,and applications[M]. SAGE,1995.
[279] http://disease. 39. net/sylm/js/220482. htm.
[280] http://edu. people. com. cn/GB/1053/3864335. html.
[281] Hu B,Xia G. Integrated qualitative simulation method for group behaviour[J]. Journal of Artificial Societies and Social Simulation,2005,8(2).
[282] Hu Bin,Xia Gongcheng. Group behavior simulation oriented knowledge description and its reasoning algorithm[C]. Proceedings of 2003 International Conference on Management Science & Engineering. Georgia,USA,2003: 15-17.
[283] Iansiti M,Levien R. The keystone advantage: what the new dynamics of business ecosystems mean for strategy, innovation and sustainability [M]. Harvard Business School Publishing Corporation,2004a.
[284] Iansiti M,Levien R. Strategy as ecology[J]. Harvard Business Review,2004b,3: 68-78.
[285] Ihrig M. A new research architecture for the simulation era[C]. Conference on Modelling & Simulation,2012: 715-720.
[286] Isabel R,Bravo M J,Jose M P. The demand-control-support model,locus of control and job

dissatisfaction: a longitudinal study[J]. Work & Stress, 2001, 15(2): 97-114.

[287] Ivancevich J M, Matteson M T. Stress and work: a managerial perspective[M]. Glenview, L: Scott, Foresman, 1980.

[288] Iwasaki Y, Simon H A. Causality in design behavior[J]. Artificial Intelligence, 1986, 29(1): 3-32.

[289] Iwasaki Y. Causal ordering in a mixed structure [C]. Proceedings of the Seventh National Conference on Artificial Intelligence(AAAI-88) St Paul. Minnesota, 1988: 313-318.

[290] Iyer B, Lee C H, Venkatraman N, et al. Managing in a "small world ecosystem": lessons from the software sector[J]. California Management Review, 2006, 18.

[291] Jackson M O. Social and economic networks[M]. Princeton University Press, 2008.

[292] Jamal M. Job stress and job performance controversy: an empirical assessment [J]. Organizational Behavior & Human Performance, 1984, 33(1): 1-21.

[293] Jamal M. Relationship of job stress to job performance: a study of managers and blue-collar workers[J]. Human Relations, 1985, 38(5): 409-424.

[294] Janis I L, Mann L. Decision Making[M]. Free Press, New York, 1981.

[295] Jarillo J C. On strategic networks[J]. Strategic Management Journal, 1988, 9(1): 31-41.

[296] Jiang Wu, Bin Hu, Tian-yin Liu, Kathleen M Carley. Empirical data driven simulation on the diffusion of an e-commerce system[A], world congress on social simulation 2008(WCSS-08) [C]. George Mason University, Fairfax, July 14-17, 2008.

[297] Johnson J V, Hall M E. Job strain, work place social support, and cardiovascular disease: a cross-sectional study of a random sample of the swedish working population[J]. American Journal of Public Health, 1988, (78): 1336-1342.

[298] Junm D. A petri net synthesis theory for modeling flexible manufacturing systems[J]. IEEE Trans. Syst, Man, Cybern, 1997, 27(2): 169-183.

[299] Karasek R A. Job demand, job decision latitude, and mental strain: implications for job redesign [J]. Administrative Science Quarterly, 1979, 24(2): 285-308.

[300] Kauffman S A. The origins of order: self organization and selection in evolution[M]. Oxford University Press, USA, 1993.

[301] Kelly K. Out of control: the new biology of machines, social systems, and the economic world [M]. Addison-Wesley, 1995.

[302] Kempe D, Kleinberg J, Tardos E V. Maximizing the spread of influence through a social network [C]. Washington, DC, ACM Press, 2003.

[303] Kennedy C, Theodoropoulos G, Sorge V, et al. AIMSS: an architecture for data driven simulations in the social sciences[J]. Computational Science-ICCS, 2007, 1098-1105.

[304] Kilduff M, Brass D J. Organizational social network research: core ideas and key debates[J]. The Academy of Management Annuals, 2010, 4(1): 317-357.

[305] Kilduff M, Krackhardt D. Interpersonal networks in organizations: cognition, personality, dynamics, and culture[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2008.

[306] Kilduff M, Tsai W. Social networks and organizations[M]. Sage Publications Ltd, 2003.

[307] King M, Stanley G, Burrows G. Stress: Theory and practice[M]. Grune & Stratton, 1987.

[308] Kleer D J, Brown J S. A qualitative physics based on confluences[J]. Artificial Intelligence,

1984,24(1): 7-83.

[309] Kleer J D,Brown J S. A qualitative physicals based on confluences[J]. Artificial Intelligence, 1984,24: 7-83.

[310] Kleinberg J M. Hubs, authorities, and communities[J]. ACM Computing Survey (CSUR), 1999,31(4es): 5.

[311] Kleindorfer G B, O'Neill L, Ganeshan R. Validation in simulation: various positions in the philosophy of science[J]. Management Science,1998,44(8): 1087-1099.

[312] Knepell P L,Araangno D C. Simulation validation: a confidence assessment Methodology[M]. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press,1993.

[313] Kossinets G,Watts D J. Empirical analysis of an evolving social network[J]. Science,2006,311 (57): 88-90.

[314] Krachhardt D,Carley K M. PCANS model of structure in organizations [C]. Paper presented at the Proceedings of the 1998 International Symposium on Command and Control Research and Technology,Monterrey,CA,1998.

[315] Krackhardt D. Cognitive social structures[J]. Social Networks,1987,9(2): 109-134.

[316] Krackhardt D, Hanson J R. Informal networks: the company behind the chart[J]. Harvard Business Review,1993,(7): 1-8.

[317] Kuipers B. Qualitative simulation[J]. Artificial Intelligence,1986,29(3): 289-338.

[318] Kuipers B. Qualitative simulation: then and now[J]. Artificial Intelligence,1993,59: 133-1140.

[319] Kumar R,Raghavan P,Rajagopalan S,et al. Stochastic models for the Web Graph [C]. Paper presented at the Proceedings of the 42nd Annual IEEE Symposium on the Foundations of Computer Science,2000.

[320] Kuppers G,Lenhard L. Validation of simulation: patterns in the social and natural sciences[J]. JASS—the Journal of Artificial Societies and Social Simulation,2005,8(4).

[321] Kyriacou C, Sutcliffe J. Teacher stress: a review [J]. Educational Review, 1977, 29 (4): 299-306.

[322] Kyriacou C,Sutcliffe J. Teacher stress: prevalence, sources, and symptoms[J]. British Journal of Educational Psychology,1978,48(2): 159-167.

[323] Kyriacou C. Teacher stress and burnout: an international review[J]. Educational Review,1987, 29(2): 146-152.

[324] Küppers G,Lenhard J. Validation of simulation: patterns in the social and natural sciences[J]. Journal of Artificial Societies and Social Simulation,2005,8(4).

[325] Lant T K, Mezias S J. Managing discontinuous change: a simulation study of organizational learning and entrepreneurship[J]. Strategic Management Journal,1990,11: 147-179.

[326] Lawler E E. Motivation in work organizations[M]. Brooks/Cole Publishing Company,1973,496 (2): 430-437.

[327] Lazarsfeld P F,Merton R K. Friendship as a social process: a substantive and methodological analysis[J]. Freedom and Control in Modern Society,1954,18: 18-66.

[328] Lazarus R S, Launier R. Stress-related transactions between person and environment [J]. Springer US,1978: 287-327.

[329] Lazarus R S. Stress and emotion: a new synthesis[M]. Springer,New York, 1999.

[330] Lazarus R, Folkman S. Stress, appraisal and coping[M]. New York: Springer Publishing, 1984.

[331] Lazer D, Pentland A S, Adamic L, et al. Life in the network: The coming age of computational social science[J]. Science (New York, NY), 2009, 323(5915): 721.

[332] Lee Y, Kozar K A. Larsen K R T. The technology acceptance model: past, present, and future [J]. Communications of the Association for Information Systems, 2003, (12): 752-780.

[333] Leenders R T A J. Models for network dynamics: a markovian framework[J]. Journal of Mathematical Sociology, 1995, 21(1): 1-21.

[334] Leskovec J, Adamic L A, Huberman B A. The dynamics of viral marketing[J]. ACM Transactions on the Web, 2007a, 1(1): 1-40.

[335] Leskovec J, Horvitz E. Planetary-scale views on a large instant-messaging network[C]. International Conference on World Wide Web, 2008: 915-924.

[336] Leskovec J, Kleinberg J, Faloutsos C. Graph evolution: densification and shrinking diameters [J]. ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data(TKDD), 2007b, 1(1): 2.

[337] Leskovec J, Singh A, Kleinberg J. Patterns of influence in a recommendation network [C]. Paper presented at PAKDD 2006, LNAI 3918, 2006.

[338] Levesque R. SPSS programming and data management: a guide for SPSS and SAS users (4th Edition)[M]. Chicago: SPSS Inc, 2007.

[339] Li X, Chen G. A local-world evolving network model[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2003, 328(1): 274-286.

[340] Liefner I, Hennemann S. Structural holes and new knowledge network of China's optical technology sector[J]. Environment and Planning A, 2011, 43940: 810-829.

[341] Lin K, Farley A M. Causal reasoning in economic models[J]. Decision Support Systems, 1995, 15: 167-177.

[342] Lin N, Dumin M. Access to occupations through social ties[J]. Social Networks, 1986, 8(4): 365-385.

[343] Lin Z, Yang H B, Arya B. Alliance partners and firm performance: resource complementarity and status association[J]. Strategic Management Journal, 2009, 30(9): 921-940.

[344] Lloyd A L, May R M. How viruses spread among computers and people[J]. Science, 2001, (292): 1316-1317.

[345] Louch H. Personal network integration: transitivity and homophily in strong-tie relations[J]. Social Networks, 2000, 22(1): 45-64.

[346] Lyne K D, Barrett P T, Williams C, et al. A psychometric evaluation of the occupational stress indicator[J]. Journal of Occupational and Organizational Psychology, 2000, 73: 195-220.

[347] Macal C M, North M J. Tutorial on agent-based modeling and simulation[C]. Simulation Conference, 2006, 4(3): 73-83.

[348] Macal C M, North M J. Tutorial on agent-based modeling and simulation[A]. The 2005 winter simulation conference[C]. Orlando, FL, USA: IEEE, 2005.

[349] Macal M J N C M. Tutorial on agent-based modeling and simulation[C]. Paper presented at the Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, 2005.

[350] Macy M W, Willer R. From factors to actors: computational sociology and agent-based modeling [J]. Annual Review of Sociology, 2002, 143-166.

[351] Madar N, Kalisky T, Cohen R, et al. Immunization and epidemic dynamics in complex networks [J]. Eur. Phys. J. B, 2004, 38: 269-276.

[352] Mahajan V, Muller E. Innovation diffusion and new produce growth models in marketing[J]. Journal of Marketing, 1979, 43(4): 55-68.

[353] Maiden N, Lockerbie J, Randall D, et al. Collaboration patterns and the Impact of distance on Awareness in requirements-centred social networks [C]. Paper presented at the 15th IEEE International Requirements Engineering Conference, 2007.

[354] Lomi A, Larsen E R. Dynamics of Organizations: Computational Modeling and Organization Theories[M]. The MIT Press, 2003, 1(3): 492-496.

[355] March J G. Foreword. In A. Lomi, & E. R. Larsen (Eds.), Dynamics of Organizational Societies: Information, Structure, and Computation[M]. Menlo Park, CA: American Association for Artificial Intelligence, 2001.

[356] Mark E. Nissen. Qualitative simulation of organizational microprocesses [J]. IEEE, 1994, 17(6): 576-583.

[357] Martinez-Miranda J, Pavon J. Modeling the influence of trust on work team performance[J]. Simulation-Transactions of the Society for Modeling and Simulation International, 2012, 88(4): 408-436.

[358] Maurer L, Ebers M. Dynamics of social capital and their performance implications: lessons from biotechnology start-ups[J]. Administrative Science Quarterly, 2006, 51(2): 262-292.

[359] Mayer R C, Davis J H, Schoorman F D. An integrative model of organizational trust[J]. The Academy of Management Review, 1995, 20(3): 709-734.

[360] McPherson M, Smith-Lovin L, Cook J M. Birds of a feather: homophily in social networks[J]. Annual Review of Sociology, 2001, 415-444.

[361] Mercken L, Snijders T A B, Steglich C, et al. Introduction to actor-based models for network dynamics[J]. Social Networks, 2010, 32: 72-81.

[362] Midgley D, Marks R, Kunchamwar D. Building and assurance of agent-based models: an example and challenge to the field[J]. Journal of Business Research, 2007, 60(8): 884-893.

[363] Milgram S. The small world problem[J]. Psychology Today, 1967, 2(1): 60-67.

[364] Miller J G. Information input, overload, and psychopathology [J]. American Journal of Psychiatry, 1960, 116: 695-704.

[365] Miller J H. Active non linear tests (ANTs) of complex simulation models[J]. Management Science, 1998, 44(6): 820-830.

[366] Minsky, Marvin. The society of mind[J]. New York: Simon & Schuster, 1986.

[367] Mitchell M. Complexity: a guided tour[M]. Oxford University Press, USA, 2009.

[368] Moore J F. Predators and prey: a new ecology of competition[J]. Harvard Business Review, 1993, (71): 75.

[369] Moreno Y, Pastor-Satorras R, Vespignani A. Epidemic outbreaks in complex heterogeneous networks[J]. The European Physical Journal B, 2002, 26(4): 521-529.

[370] Naylor T H, Finger J M. Verification and validation of simulation models[J]. Management Science, 1967, 14(2): 92-101.

[371] Neiss R. Ending arousal's reign of error: A reply to Anderson[J]. Psychological Bulletin,

1990,107(1): 101-105.
[372] Neiss R. Reconceptualizing arousal: Psychobiological states in motor performance [J]. Psychological Bulletin,1988,103(3): 345-366.
[373] Newman M E J. The structures and functions of complex networks[J]. SIAM Review,2003, 45: 167-226.
[374] Newman M. The structure and function of complex networks[J]. SIAM Review,2003,4(2): 167-256.
[375] Newman M E J. Assortative mixing in networks[J]. Cond-mat/0205405,2002.
[376] Newman M E J. Networks: an introduction[M]. Oxford University Press.
[377] Nigel G. 2000. How to build and use agent-based models in social science[J]. Mind and Society,2010,1(1): 57-72.
[378] Nissen M E. Qualitative simulation of organizational microprocesses [J],IEEE,1994,17(6): 576-583.
[379] Nohria N,Ghoshal S. The differentiated network organizing multinational corporations for value creation[M]. San Francisco: Jossey-Bass Publishers,1997.
[380] North M J,Macal C M,St Aubin J. et al. Multiscale agent-based consumer market modeling[J]. Complexity,2010,15(5): 37-47.
[381] Olinky R,Stone L. Unexpected epidemic thresholds in heterogeneous networks: the role of disease transmission[J]. Phys. Rev. E,2004,(70): 030902(1-4).
[382] Onnela J P,Saramaki J,Hyvönen J,et al. Analysis of a large-scale weighed network of one-to-one human communication[J]. New Journal of Physics,2007,9: 179.
[383] Pastor-Satorras R,Vespignani A. Epidemic dynamics in finite size scale-free networks [J]. Physical Review E Statistical Nonlinear & Soft Matter Physics,2002,65(3): 035108.
[384] Pastor-Satorras R,Vespignani A. Epidemic spreading in scale-free networks [J]. Physical Review Letters,2001,86(14): 3200-3203.
[385] Peter V Marsden. Social structure and network analysis[M]. Nan Lin: Sage Publications,1982.
[386] Peterson J L. Petri net theory and modeling of systems[M]. Prentice Hall,1981.
[387] Powell W W,Koput K W,Smith Doerr,L. Interorganizational collaboration and the locus of innovation: networks of learning in biotechnology[J]. Administrative Science Quarterly,1996, 41(1): 116-145.
[388] Price D J D S. Networks of scientific papers[J]. Science,1965,149(3683): 510-515.
[389] Quick J C,Quick J D. Organizational stress and preventive management[M]. New York: McGraw-Hill,1984.
[390] Radicchi F,Fortunato S,Markines B,et al. Diffusion of scientific credits and the ranking of scientists[J]. arXiv,2009,0907: 1050.
[391] Rivkin J W. Siggelkow,N. Patterned interactions in complex systems: implications for exploration[J]. Management Science,2007,53(7): 1068-1085.
[392] Robbins S P. Organizational behavior: concepts,controversies and applications(7th ed.)[M]. Prentice Hall Inc. Renmin University of China Press. 1997,474.
[393] Robertson T S,Gatignon H. Competitive effects on technology diffusion[J]. The Journal of Marketing,1986,50(3): 1-12.

[394] Rogers E M. Diffusion of innovations (5th Edition)[M]. New York,NY: Free Press,2003.
[395] Romme A G L. Unanimity rule and organizational decision making: a simulation model[J]. Organization Science,2004,15(6): 704-718.
[396] Rosvall M, Bergstrom C T. Maps of random walks on complex networks reveal community structure [C]. Proceedings of the National Academy of Sciences,2008,105(4): 1118-1123.
[397] Salvaneschi P, Cadei M, Lazzari M. A causal modelling framework for the simulation and explanation of the behaviour of structure[J]. Artificial Intelligence in Engineering, 1997, 11: 205-216.
[398] Sanil A,Banks D,Carley K. Models for evolving fixed node networks: model fitting and model testing[J]. Social Networks,1995,17(1): 65-81.
[399] Sargent R G. Validation and verification of simulation models[C]. Paper presented at the 36th Conference on Winter Simulation,2004.
[400] Sargent R G. Verification and validation of simulation modes[C]. Paper presented at the proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference,USA,2005.
[401] Say A C C,Akyn H L. Sound and complete qualitative simulation is impossible[J]. Artificial Intelligence,2003,149: 251-266.
[402] Schaubroech J,Lam S S K,Xie J L. Collective efficacy versus self-efficacy in coping responses to stressors and control: a cross-cultural study[J]. Journal of Applied Psychology, 2000, 85(4): 512-525.
[403] Schelling T G. Dynamic models of segregation[J]. Journal of Mathematical Sociology, 1971, 1(2): 143-186.
[404] Jr WES. Activation theory and task design [J]. Organizational Behavior & Human Performance,1996,1(1): 3-30.
[405] Seipp B. Anxiety and academic performance: A meta-analysis of findings[J]. Anxiety Research, 2007,4(1): 27-41.
[406] Shen Q, Leitch R. Fuzzy qualitative simulation[J]. IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics,1993,23(4): 1038-1061.
[407] Shen Q,Leitch R R. Fuzzy qualitative simulation[J]. IEEE Trans. Syst. Man&Cybernet,1993, 23.
[408] Smith E R,Conrey F R. Agent-based modeling: a new approach for theory building in social psychology[J]. Personality and Social Psychology Review,2007,11(1): 87-104.
[409] Snijders T A B. Methods of longitudinal social network data: review and marker process model [J]. New Trends in Probability and Statistics,1995,3: 211-227.
[410] Snijders T A B,Steglich C E G,Schweinberger M. Modeling the co-evolution of networks and behavior[J]. Longitudinal Models in theBehavioral and Related Sciences,2007,41-71.
[411] Snijders T A B,Van de Bunt G G,Steglich C E G. Introduction to stochastic actor-based models for network dynamics[J]. Social Networks,2010,32(1): 44-60.
[412] Spielberger C D, Reheiser E C. The job stress survey: measuring gender differences in occupation stress[J]. Journal of Social Behavior & Personality,1994,9(2): 199-218.
[413] Steglich C,Snijders T A B,Pearson M. Dynamics networks and behaviors: separating selection from Influence[J]. Sociological Methodology,2010,40(1): 329-393.

[414] Sullivan S E,Bhagat R S. Organizational stress,job satisfaction and job performance: What do we go from here[J]. Journal of Management,1992,18(2): 353-374.

[415] Summers T P,Decotiis T A,Denisi A S. A field study of some antecedents and consequences of felt job stress[M]. Occupational Stress: A Handbook,1995: 113-128.

[416] Tan Y, Mookerjee V, Singh P. Social capital, structural holes and team composition: collaborative networks of the open source software community [C]. the Proceedings of International Conference of Information Systems (ICIS 2007),Montreal,Canada,2007.

[417] Taronna R M,Akila J,Jessica A B,et al. Transmission and pathogenesis of swine-origin 2009 A (H1N1) influenza viruses in ferrets and mice[DB]. Sciencexpress/www. sciencexpress. org/2 July 2009/Page 1/10. 1126/science. 1177238.

[418] Tianyin Liu,Bin Hu. Job stress diffusion modelling and simulation in complex networks[C]. Proceedings of the IASTED International Conference Modelling, Simulation, and Identification (MSI 2009),2009,662-237.

[419] Tianyin Liu,Bin Hu. OEQS-based modelling and simulation of employee group behaviors[C]. Proceedings of the IASTED International Conference Modelling, Simulation, and Identification (MSI 2009),2009,662-235.

[420] Tianyin Liu, Bin Hu. Qualitative simulation of teachers group behaviors based on BP neural network[C]. Proceedings of the 4th International Symposium on Intelligence Computation and Applications(ISICA 2009),2009,CCIS 51: 387-397.

[421] Tianyin Liu,Bin Hu. Modeling and simulation of teachers occupational stress diffusion in china [C]. Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference,2010.

[422] Ting Z,Baojun G,Huiyu X. A review of innovation diffusion model based on cellular automata [J]. Chinese System Engineering,2006,24(12): 6-15.

[423] Travers Cherl J,Cooper Cary L. Teachers under pressure: Stress in The teaching Profession, Routledge,London and New York-26,1996,53: 27-29N.

[424] Uzzi B,Amaral L A,Reed-Tsochas F. Small-world networks and management science research: a review[J]. European Academy of Management,2007,(4): 77-91.

[425] Vanhaverbeke W,Gilsing V,Beerkens B,et al. The role of alliance network redundancy in the creation of core and non-core technologies[J]. Journal of Management Studies,2009,46(2): 215-244.

[426] Wasserman S,Faust K. Social network analysis: methods and applications(structural analysis in the social science)[M]. Cambridge: Cambridge University Press,1994.

[427] Wasserman S,Iacobucci D. Sequential social network data[J]. Psychometrika,1988,53(2): 261-282.

[428] Watts D J,Strogatz S H. Collective dynamics of small world networks[J]. Nature,1998,(393): 440-442.

[429] Watts D J,Dodds P S,Newman M E J. Identity and search in social networks[J]. Science,2002, 296: 1302-1035.

[430] Watts D J. Small Worlds: The dynamics of networks between order and randomness[M]. Princeton University Press,1999.

[431] Watts D J. Small Worlds: The dynamics of networks between order and randomness[M].

Princeton University Press. 1999.
[432] Weiss M. Effects of work stress and social support on information systems managers[J]. Mis Quarterly,1983,7(1):29-43.
[433] Westman M,Eden D. The inverted-u relationship between stress and performance: A field study [J]. Work and Stress,1996,10(2):165-173.
[434] Williams B S,Cooper L. Managing workplace stress: A best practice blueprint[J]. Wiley,2002, 50(2):151.
[435] Wolfram S. A new kind of science[M]. Champaign,IL: Wolfram Media,2002.
[436] World Health Organization. Influenza A(H1N1) [EB/OL]. (2009-04-29)[2010-06-16]. http://www. who. int/mediacentre/news/statements/2009/hlnl_20090429/en/index. html.
[437] Wu Jiang,Bin Hu,Tian-yin Liu,Kathleen M Carley. Empirical data driven simulation on the diffusion of an e-commerce system[A],World Congress on Social Simulation 2008(WCSS-08) [C],George Mason University,Fairfax,2008. 7. 14-17.
[438] Wu J. Geographical knowledge diffusion and spatial diversity citation rank[J]. Scientometrics, DOI: 10. 1007/s1192-012-0715-8,2012,1-21.
[439] Wu J,Hu B,Zhang J,et al. Multi-agent simulation of group behavior in e-government policy decision[J]. Simulation Modelling Practice and Theory,2007,16(10):1571-1587.
[440] Wu J,Hu B,Zhang Y,et al. An agent-based simulation study for exploring organizational adaptation[J]. Simulation,2009,85(6):397-413.
[441] Wyatt G J,Leitch R R,Steele A D. Qualitative and quantitative simulation of interacting markets [J]. Decision Support System,1995(15):105-113.
[442] Yerkes R M,Dodson J D. The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation[J]. Journal of Comparative Neurology & Psychology,1908,18(18):459-482.
[443] Yilmaz L. Validation and verification of social processes within agent-based computational organization models[J]. Computational & Mathematical Organization Theory,2006,12 (4): 283-312.
[444] Young H P. The diffusion of innovations in social networks[J]. General Information,2000, 413(1):2329-2334.
[445] Young H P. Innovation diffusion in heterogeneous populations: contagion,social influence,and social learning[J]. American Economic Review,2009,99(5):1899-1924.

# 图书资源支持

感谢您一直以来对清华版图书的支持和爱护。为了配合本书的使用，本书提供配套的资源，有需求的读者请扫描下方的"书圈"微信公众号二维码，在图书专区下载，也可以拨打电话或发送电子邮件咨询。

如果您在使用本书的过程中遇到了什么问题，或者有相关图书出版计划，也请您发邮件告诉我们，以便我们更好地为您服务。


**我们的联系方式：**

地　　址：北京海淀区双清路学研大厦 A 座 707

邮　　编：100084

电　　话：010－62770175－4604

资源下载：http://www.tup.com.cn

电子邮件：weijj@tup.tsinghua.edu.cn

QQ：883604（请写明您的单位和姓名）





书圈

**用微信扫一扫右边的二维码，即可关注清华大学出版社公众号"书圈"。**